

DARCY FERRAÇO JUNIOR
E
ALONSO DE CARVALHO DA SILVA

ESPAÇOS CONFINADOS:
A IMPORTÂNCIA DA VENTILAÇÃO GERAL DILUIDORA

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do diploma de especialização em Higiene
Ocupacional.

São Paulo
2006

DARCY FERRAÇO JUNIOR
E
ALONSO DE CARVALHO DA SILVA

**ESPAÇOS CONFINADOS:
A IMPORTÂNCIA DA VENTILAÇÃO GERAL DILUIDORA**

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do diploma de especialização em Higiene
Ocupacional.

Área de Concentração: Higiene Ocupacional

São Paulo
2006

“A Toda força de trabalho do Sistema PETROBRAS, que esta pesquisa sirva de referência técnica na obtenção de ambientes de trabalho mais seguros e que seja uma mola propulsora para discussão de um tema tão importante na Segurança do Trabalho”.

AGRADECIMENTOS

Aos nossos pais pelo amor e carinho demonstrado em todos os momentos da nossa vida e exemplos de conduta e dedicação, aprendizado inestimável para toda a nossa vida.

As nossas esposas e filhos pela compreensão da nossa ausência e pelo incentivo dado nos momentos de angústia.

Ao Engenheiro Marco Aurélio Bobsin da Petrobras/CENPES pelo estímulo no desenvolvimento desta jornada.

Ao Comandante José Menezes Filho da Transpetro pelo apoio e incentivo autorizando a publicação de dados para o nosso estudo.

Ao Técnico Carlos José Santiago da empresa Sondotécnica, nossos sinceros agradecimentos, pela colaboração constante nas entrevistas.

A todos os companheiros de trabalho, nosso afeto e nossa eterna gratidão.

RESUMO

A ventilação é um ramo do conhecimento tecnológico com aplicações em, praticamente, todas as atividades humanas. Ela se aplica tanto nos processos produtivos industriais como também nos processos de controle dos riscos ambientais. O risco de entrada em espaços confinados está associado aos agentes ambientais como: gases, vapores, névoas, fumos e poeiras, pois muitas pessoas foram mortas ou lesionadas porque entram em espaços confinados que não estavam rigorosamente limpos ou testados, podendo-se depreender que às vezes, até parece que equipamentos como: vasos de pressão, fornos, caminhões tanques, tanques de armazenamento, etc são mais perigosos vazios que quando cheios e em operação. Portanto medidas de engenharia são necessárias de forma a prover um ambiente seguro para o desenvolvimento de trabalhos nesses espaços. A ventilação geral diluidora (VGD) é o método de insuflar ar em um ambiente ocupacional, de exaurir ar desse ambiente, ou ambos, a fim de promover uma redução na concentração de poluentes nocivos. Essa redução ocorre, uma vez que, ao introduzirmos ar limpo, ou não poluído, em um ambiente contendo uma certa massa de um determinado poluente, faremos com que essa massa seja dispersa ou diluída em um volume maior de ar, reduzindo, portanto, a concentração desses poluentes. Portanto a aplicação da ventilação geral diluidora consiste em uma medida de engenharia capaz de prover um ambiente de trabalho seguro para o desenvolvimento de atividades e serviços em espaços confinados.

Palavras chave: Espaços confinados, Ventilação geral diluidora e Ventilação industrial.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Objetivo.....	1
1.3. Justificativa.....	1
1.4. Conclusão.....	2
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Riscos Ambientais.....	3
2.1.1 Poeiras.....	4
2.1.2 Fumos.....	4
2.1.3 Névoas.....	5
2.1.4 Classificação dos agentes tóxicos.....	5
2.1.4.1 Irritantes.....	5
2.1.4.2 Asfixiantes.....	6
2.1.4.3 Narcóticos.....	6
2.1.4.4 Tóxicos sistêmicos.....	7
2.1.4.5 Material particulado que não seja tóxico sistêmico.....	7
2.1.5 Classificação das substâncias pelos seus efeitos tóxicos.....	8
2.1.5.1 Não venenos.....	8
2.1.5.2 Venenos por concentração.....	8
2.1.5.3 Venenos crônicos.....	8
2.1.5.4 Venenos cumulativos.....	9
2.1.5.5 Venenos aditivos.....	9
2.1.6 Toxicidade aguda, subaguda e crônica.....	9
2.1.6.1 Toxicidade aguda.....	9
2.1.6.2 Toxicidade subaguda.....	9
2.1.6.2 Toxicidade crônica.....	10

2.1.7	Toxicidade seletiva e associada.....	10
2.1.7.1	Toxicidade seletiva.....	10
2.1.7.2	Toxicidade associada.....	10
2.1.8	Relação dose resposta.....	11
2.1.9	Espaços confinados.....	12
2.1.9.1	Atmosferas deficientes em oxigênio.....	16
2.1.9.2	Atmosferas inflamáveis.....	17
2.1.9.3	Atmosferas tóxicas.....	18
2.2	Controle de Riscos Ambientais.....	19
2.2.1	Serviços Médicos.....	19
2.2.1.1	Exames médicos sistemáticos.....	20
2.2.1.2	Exames de admissão ao trabalho.....	20
2.2.1.3	Exames periódicos.....	21
2.2.1.4	Exames eventuais.....	22
2.2.1.5	Assistência médica.....	22
2.2.1.6	Higiene dos locais, materiais, métodos e condições de trabalho.....	22
2.2.1.7	Educação sanitária.....	23
2.2.2	Medidas de Engenharia.....	23
2.2.2.1	Adequação do projeto, construção e manutenção da maquinaria e equipamentos industriais.....	24
2.2.2.2	Substituição de matérias nocivos por outros menos nocivos ou inócuos.....	24
2.2.2.3	Modificação de processos e métodos de trabalho.....	25
2.2.2.4	Umectação.....	26
2.2.2.5	Enclausuramento.....	27
2.2.2.6	Isolamento.....	27
2.2.2.7	Equipamento de proteção individual.....	28
2.2.2.8	Ordem, limpeza e conservação.....	29
2.2.3	Ventilação.....	29
2.3	Ventilação Geral.....	30
2.3.1	Classificação dos sistemas de ventilação.....	31
2.3.1.1	Ventilação geral para manutenção do conforto e eficiência do homem	31

2.3.1.2	Ventilação geral para manutenção da saúde e segurança do homem....	32
2.3.1.3	Ventilação geral para conservação de materiais e equipamentos.....	32
2.3.1.4	Ventilação local.....	32
2.3.2	Necessidades humanas de ventilação.....	32
2.3.2.1	Composição do ar.....	33
2.3.2.2	O dióxido de carbono como um índice das necessidades de ventilação.....	34
2.3.2.3	Efeito do tamanho do ambiente ocupado em função das necessidades de ventilação.....	35
2.4	Casos de acidentes em espaços confinados na indústria de petróleo e gás.....	35
2.4.1	Entrada em espaço confinado com atmosfera de risco.....	35
2.4.2	Acidente na Hickson e Welch LTDA.....	37
2.4.3	Acidente no navio tanque NC Jurupema.....	40
2.5	Ventilação.....	41
2.5.1	Componentes de uma instalação de ventilação geral diluidora.....	43
2.5.2	Efeito direcional do jato de ar.....	44
2.5.3	Tipos de VGD.....	45
2.5.4	Comportamento de gases e vapores.....	48
2.5.5	Taxa de ventilação.....	49
2.5.6	Ventilação diluidora para a proteção da saúde do homem.....	50
2.5.7	Ventilação geral diluidora para evitar fogo ou explosão.....	52
2.5.8	Ventilação diluidora para misturas e substâncias.....	53
2.5.9	Taxa de alteração da concentração de uma substância em um ambiente ventilado.....	54
2.5.10	Renovação de ar ambiente.....	55
3	METODOLOGIA.....	57
3.1	Levantamento bibliográfico.....	58
3.2	Escopo da pesquisa.....	58
3.3	Meios para coleta dos dados de campo.....	58
3.4	Variáveis selecionados para o estudo de caso.....	59
3.5	Um estudo de caso.....	59

3.5.1	Descrição da região e instalação.....	60
3.5.2	Descrição geográfica da região.....	60
3.5.2.1	Localização geográfica.....	60
3.5.2.2	Dados meteorológicos da região.....	61
3.5.3	Identificação do local de trabalho.....	62
3.5.4	Descrição do trabalho.....	65
3.5.4.1	Tratamento interno do fundo.....	65
3.5.4.2	Montagem de andaime interno.....	66
3.5.4.3	Tratamento da parede interna.....	68
3.5.5	Cálculo do volume do espaço confinado.....	69
3.5.6	Número de pessoas trabalhando no espaço confinado.....	69
4	RESULTADOS.....	70
4.1	Preparação para entrada no castelo.....	70
4.2	Cálculo da taxa de ventilação.....	72
5	DISCUSSÃO.....	73
5.1	Ventilador e dutos.....	73
5.2	Entrada no espaço confinado.....	73
5.3	Taxa de ventilação a ser mantida durante os trabalhos internos no espaço confinado.....	74
6	CONCLUSÕES.....	75
	ANEXO I – FICHA DE DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO.....	76
	LISTA DE REFERÊNCIAS.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Exemplo de espaço confinado em navios petroleiros: entrada em boca de visita de um tanque de armazenamento.....	13
Figura 2.2 - Exemplo de espaço confiando em navios petroleiros: entrada em boca de visita de um tanque de armazenamento.....	14
Figura 2.3 - Exemplo de espaço confiando em castelo d'água: acesso a boca de visita.....	14
Figura 2.4 - Exemplo de espaço confinado em navios petroleiros: corte apresentando o interior de um tanque de armazenamento.....	15
Figura 2.5 - Exemplo de espaço confiando em navios petroleiros: corte apresentando o interior de um tanque de armazenamento.....	16
Figura 2.6 - Percentuais em volume de oxigênio (O ₂) e as consequências para o organismo humano.....	17
Figura 2.7 - Triângulo do fogo.....	18
Figura 2.8 - Acidente em poço (espaço confinado).....	36
Figura 2.9 - Componentes de uma instalação de VGD.....	44
Figura 2.10 - Efeito direcional do jato.....	45
Figura 2.11 - Tipos de VGD.....	47
Figura 3.1 - Vista do CENPES.....	61
Figura 3.2 - Andaimes, elevador cremalheira e castelo d'água.....	63
Figura 3.3 - Vista superior do castelo d'água.....	63
Figura 3.4 - Vista frontal do castelo d'água.....	64
Figura 3.5 - Cadeira ou balancim.....	66
Figura 3.6 - Andaime interno.....	67
Figura 3.7 - Plataforma do andaime interno.....	67
Figura 3.8 - Revestimento Moter plas Alumínio.....	68
Figura 5.1 - Instalação de ventilador e dutos.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Composição do ar (porcentagem em volume).....	34
Tabela 2.2 - Quantidades recomendadas de ar externo por pessoa no ambiente.....	34
Tabela 2.3 - Quantidades recomendadas de ar externo por pessoa no ambiente.....	35
Tabela 2.4 - Comparação entre os tipos de VGD.....	47
Tabela 2.5 - Concentração desejada para vários solventes industriais.....	51
Tabela 2.6 - Valores recomendados para o coeficiente de segurança (K).....	52
Tabela 2.7 - Critérios sugeridos para projetos gerais de ventilação de ambientes para controle de odores.....	56
Tabela 3.1 - Dados meteorológicos da região.....	62
Tabela 3.2 - Número de trabalhadores por fase.....	69
Tabela 4.1 - Redução da concentração do contaminante em função do tempo de ventilação.....	72
Tabela 4.2 - Número de trocas de taxa de ventilação.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%	Percentual
°C	Grau Celsius
°F	Grau Fahrenheit
AIChE	American Institute of Chemical Engineers
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
APP	Análise Preliminar de Perigo
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
BBD	Bombeador
BSI	British Standards Institution
BTU	British thermal unit
CCC	Centro de Controle de Cargas
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgoto
CENPES	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello
CEPEL	Centro de Pesquisa da Eletrobrás
CTR	Contra Mestre
DDT	Dimetil Dietil Tolueno
FRONAPE	Frota Nacional de Petroleiros
HSE	Health and Safety Executive
IACS	International Association of Classification Societies
IGEO	Instituto de Geociências da UFRJ
IMT	Imediato
INFRAERO	INFRAERO Aeroportos Brasileiros
IPVS	Imediatamente Perigosa à Vida ou à Saúde
ISO	International Organization For Standardization
Kd	Concentração desejada
LIE	Limite Inferior de Explosividade
LT	Limite de Tolerância

ml	Mililitro
MNM	Marinheiro de Máquinas
NC	Navio Cisterna
NR	Norma Regulamentadora
OHSAS	Occupational Health and Safety Assessment Series
PETROBRAS	Petóleo Brasileiro S.A
ppm	Parte por milhão
SI	Sistema Internacional
TLV	Threshold Limit Values
TRANSPETRO	Petrobras Transporte S.A
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
VDC	Ventilation design Concentration
VGD	Ventilação Geral Diluidora
VLE	Ventilação Local Exaustora

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A ventilação é um ramo do conhecimento tecnológico com aplicações em praticamente todas as atividades humanas. Ela se aplica tanto nos processos produtivos industriais como também nos processos de controle ambiental.

1.2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consistiu em mostrar a importância da Ventilação Geral Diluidora em ambientes impróprios, perigosos e danosos à vida, em particular a vida humana, como nos ambientes pobres em oxigênio, ou seja, percentual de O_2 abaixo de 19,5% (ABNT, 2001) ou que contenham outras misturas gasosas que ponham em risco a vida de trabalhadores como nos espaços confinados encontrados em navios tanques, galerias subterrâneas ou mesmo em castelos d'água (reservatório de água).

1.3. JUSTIFICATIVA

Os Espaços Confinados são ambientes impróprios e perigosos à vida. A escolha deste tema deve-se ao relato das experiências vividas por trabalhadores que em algumas situações reais presenciaram a perda de seus companheiros como veremos nos exemplos que serão apresentados mais adiante no Capítulo 2.

O estudo de caso foi realizado em um centro de pesquisas da Petróleo Brasileiro S.A (PETROBRAS). A escolha desse centro ocorreu pelos seguintes motivos:

- O trabalho de manutenção no castelo d'água consiste na obra de maior vulto dentro do centro de pesquisa;

- Os equipamentos como: vasos de pressão, fornos, caminhões tanques, tanques de armazenamento, caixas d'água, etc são mais perigosos vazios que quando cheios e em operação;
- Os acidentes ocorridos na indústria de petróleo e gás envolvendo espaços confinados.

1.4. CONCLUSÃO

Em resposta a estas questões, procuramos demonstrar a importância da Ventilação Geral Diluidora que serve quando bem dimensionada e empregada como uma ferramenta, um instrumento eficiente de controle dos riscos ocupacionais e ambientais, oferecendo nas indústrias e em particular na de petróleo e gás garantia de limpeza , conforto térmico e uma salvaguarda da vida humana .

2. REVISÃO DE LITERATURA

A ventilação tem sido utilizada no campo da Higiene Ocupacional para evitar a dispersão de contaminantes no ambiente industrial, promover a diluição das concentrações de poluentes, evitar as concentrações geradoras de risco de incêndio e para a promoção e manutenção do conforto térmico.

O controle adequado da poluição do ar tem início com uma adequada ventilação das operações e processos poluidores da atmosfera, seguindo-se de uma escolha adequada de um equipamento para a coleta dos poluentes captados pelo sistema de ventilação.

2.1. RISCOS AMBIENTAIS

Pode-se conceituar risco como a combinação da probabilidade e consequência de ocorrer um evento perigoso específico (BSI, 1996; BSI, 1999), ou a combinação da probabilidade e consequência de ocorrer lesões, dano ou perda (AIChE, 1992; AIChE, 2000), ou como a probabilidade de ocorrência de um dano quando se utiliza uma substância de um determinado modo e em uma particular quantidade (MESQUITA, 1988) e segurança como a certeza prática de que um dano não irá ocorrer quando a substância for utilizada de um determinado modo e em uma particular quantidade (MESQUITA, 1988).

Pode-se conceituar também a avaliação de riscos como um processo global de estimar a magnitude do risco e decidir se ele é tolerável ou aceitável (BSI, 1996; BSI, 1999; AIChE, 1992; AIChE, 2000).

Os elementos básicos a serem considerados na avaliação do risco no uso de uma substância são:

- A toxicidade da substância usada;
- As propriedades físicas da substância;
- A probabilidade de absorção da substância pelo indivíduo;
- A extensão e a intensidade de exposição a essa substância;
- As medidas de controle utilizadas.

Os agentes ambientais de interesse para o presente trabalho, especificamente designado em saúde ocupacional como agentes químicos de doenças profissionais, podem ocorrer nos estados sólido, líquido ou gasoso. Quando no estado sólido ou líquido podem apresentar-se finamente divididos e suspensos no ar como material particulado.

Os agentes que se apresentam no estado gasoso são constituídos pelos gases e vapores, sendo que estes últimos representam o estado gasoso de materiais que são sólidos ou líquidos nas condições normais de pressão e temperatura. Uma das propriedades mais importantes desses agentes é sua capacidade de se misturar intimamente com o ar, tornando-se parte do mesmo. Inicialmente pode haver uma certa estratificação, devido às diferenças de densidade, contudo uma vez misturados, não há uma separação importante dessas diferenças.

As partículas sólidas e líquidas suspensas no ar podem ser classificadas de acordo com sua formação em: poeiras, fumos e névoas (MESQUITA, 1988).

2.1.1. POEIRAS

São partículas sólidas, em geral com diâmetros maiores que $1,0\ \mu\text{m}$, resultantes da desintegração mecânica de substâncias orgânicas ou inorgânicas, seja pelo simples manuseio, seja em consequência de operações de trituração, moagem, peneiramento, broqueamento, polimento, detonação, etc. Como exemplos podemos citar: as poeiras de sílica, asbesto e carvão (MESQUITA, 1988).

2.1.2. FUMOS

São partículas sólidas, em geral com diâmetros menores que $1,0\ \mu\text{m}$, resultado da condensação de vapores, geralmente após volatilização de metais fundidos, e quase sempre acompanhada de oxidação. Ao contrário das poeiras os fumos tendem a flocular. Os fumos podem ser formados também pela volatilização

de matérias orgânicas sólidas ou pela reação de substâncias químicas, como na combinação de ácido clorídrico e amoníaco (MESQUITA, 1988).

2.1.3. NÉVOAS

São partículas líquidas (gotículas), comumente com diâmetros entre 0,1 e 100,0 μm , resultantes da condensação de vapores sobre certos núcleos, ou da dispersão mecânica de líquidos, oriundas das operações ou ocorrências como a nebulização, borbulhamento, respingo, etc. Como exemplos podemos citar: névoas de ácido crômico, de ácido sulfúrico e de tinta pulverizada (MESQUITA, 1988).

2.1.4. CLASSIFICAÇÃO FISIOLÓGICA DOS AGENTES TÓXICOS

O tipo de ação fisiológica de um agente tóxico sobre o organismo depende da concentração na qual esta presente. Por exemplo, um vapor, em uma determinada concentração, pode exercer sua principal ação como anestésico, enquanto que uma menor concentração do mesmo vapor pode, sem efeito anestésico, danificar o sistema nervoso, o sistema hematopoiético, ou algum órgão visceral. Por esse motivo, é impossível, freqüentemente, colocar-se um agente tóxico em uma única classe.

2.1.4.1. IRRITANTES

São corrosivos e vesicantes em sua ação. Têm essencialmente o mesmo efeito sobre homens e animais, e o fator concentração é muito mais importante que o fator tempo de exposição. Alguns irritantes representativos são:

- Irritantes que afetam principalmente o trato respiratório superior - aldeídos (aldeído acético, acroleína, aldeído fórmico), poeiras e névoas alcalinas, amônia, ácido crômico, óxido de etileno, ácido clorídrico, fluoreto de hidrogênio, dióxido de enxofre;

- Irritantes que afetam o trato respiratório superior e os pulmões - bromo, cloro, óxidos clorados, flúor, iodo, ozona, cloretos de enxofre, tricloreto de fósforo;
- Irritantes que afetam principalmente o trato respiratório inferior - dióxido de nitrogênio, fosgênio, tricloreto de arsênio.

2.1.4.2. ASFIXIANTES

Exercem sua ação interferindo com a oxidação dos tecidos. Podem ser divididos em asfixiantes simples e químicos. Os asfixiantes simples são fisiologicamente gases inertes, que agem principalmente por diluição do oxigênio atmosférico abaixo da pressão parcial necessária para manter uma saturação de oxigênio do sangue suficiente para a respiração normal do tecido. Os asfixiantes químicos, por outro lado, através de uma ação química, impedem o transporte do oxigênio pelo sangue ou impedem a oxigenação normal dos tecidos, mesmo que o sangue esteja bem oxigenado. Seguem-se exemplos de asfixiantes.

- Asfixiantes simples: dióxido de carbono, etano, hélio, hidrogênio, metano, nitrogênio, óxido nitroso.
- Asfixiantes químicos: monóxido de carbono, que combina com a hemoglobina; cianogênio, cianeto de hidrogênio e nitrilas, que inibem a oxidação do tecido pela combinação com catalisadores celulares; anilina, metilanilina, dimetilanilina e toluidina, que formam metaemoglobina; nitrobenzeno, que forma metaemoglobina, baixa a pressão sanguínea, disfunção orgânica e, finalmente, faz cessar a respiração; e sulfeto de hidrogênio, que causa paralisia respiratória.

2.1.4.3. NARCÓTICOS

Esse grupo exerce sua principal ação como simples anestesia, sem sérios efeitos sistêmicos, e seus membros têm uma ação depressiva sobre o sistema nervoso

central, governada por suas pressões parciais no sangue que abastece o cérebro. Por exemplo, hidrocarbonetos acetilênicos, hidrocarbonetos olefinicos, éter etílico, éter isopropílico, hidrocarbonetos parafínicos, cetonas alifáticas, álcoois alifáticos.

2.1.4.4. TÓXICOS SISTÊMICOS

São substâncias que causam:

- Danos a um ou mais órgãos viscerais (a maioria dos hidrocarbonetos halogenados);
- Danos ao sistema hematopoiético (benzeno, fenóis e, num certo grau, tolueno, xilol e naftaleno);
- Danos ao sistema nervoso (dissulfeto de carbono, Álcool metílico, tiofeno);

Outras substâncias como:

- Metais tóxicos (chumbo, mercúrio, cádmio, antimônio, manganês, berílio);
- Não metais tóxicos inorgânicos (compostos de arsênio, fósforo, selênio, enxofre e fluoretos).

2.1.4.5. MATERIAL PARTICULADO QUE NÃO SEJA TÓXICO SISTÊMICO

São as substâncias como:

- Poeiras que produzem fibrose (sílica, asbesto);
- Poeiras inertes (carborundo, carvão);
- Poeiras que causam reações alérgicas (pólen, madeira, resinas e muitas outras poeiras orgânicas);
- Irritantes (ácidos, álcalis. fluoretos, cromatos);
- Bactérias e outros microrganismos.

2.1.5. CLASSIFICAÇÃO DAS SUBSTÂNCIAS PELOS SEUS EFEITOS TÓXICOS

2.1.5.1. NÃO VENENOS

São substâncias que não podem ser absorvidas pelos fluidos do organismo. Por exemplo, metilcelulose e altos polímeros. A maioria dos produtos comerciais contém baixos polímeros ou impurezas absorvíveis.

2.1.5.2. VENENOS POR CONCENTRAÇÃO

São substâncias que produzem um efeito proporcional à quantidade presente no organismo, em um dado instante. Podem ser:

- Fisicamente tóxicos (óxido nitroso, éter etílico, narcóticos em geral);
- Farmacologicamente (ou bioquimicamente) tóxicos - compostos orgânicos fosforados, que atuam como inibidores irreversíveis da colinesterase, permitindo como consequência a acumulação de grandes quantidades de acetilcolina (Parathon, Pirazoxon, etc);
- Fisiologicamente tóxicos - butil celosolve, que causa anemia hemofílica (aumenta a fragilidade dos glóbulos vermelhos).

2.1.5.3. VENENOS CRÔNICOS

São substâncias que, sempre que a concentração nos fluidos do organismo ultrapassa um limite, causa um dano que não é reparado antes da próxima absorção. Por exemplo, o tetracloreto de carbono, que causa cirrose do fígado.

2.1.5.4. VENENOS CUMULATIVOS

São substâncias que se armazenam no organismo, quando acima do nível de tolerância no sangue (chumbo, flúor, dimetil dietil tolueno - DDT).

2.1.5.5. VENENOS ADITIVOS

São substâncias tais que cada molécula das mesmas que entra no organismo produz um efeito permanente irreversível. Por exemplo, substâncias que causam câncer .

2.1.6. TOXICIDADE AGUDA, SUBAGUDA E CRÔNICA

2.1.6.1. TOXICIDADE AGUDA

Refere-se a efeitos produzidos por uma única penetração de um produto químico nos fluidos do organismo, podendo ser: uma engolida, 8,0 horas de inalação ou até 24,0 horas de contato com a pele.

2.1.6.2. TOXICIDADE SUBAGUDA

Refere-se a efeitos produzidos por penetrações diárias ou freqüentes no organismo, durante poucos dias ou até mesmo um ano.

2.1.6.3. TOXICIDADE CRÔNICA

Refere-se a efeitos produzidos pela penetração do agente tóxico durante pelo menos dois anos.

2.1.7. TOXICIDADE SELETIVA E ASSOCIADA

2.1.7.1. TOXICIDADE SELETIVA

Os agentes danificam certas células, órgãos e espécies, e não outros, na mesma dosagem. Os compostos que constituem os pesticidas são planejados para matar insetos, por exemplo, e não prejudicar o homem. Por exemplo, a seletividade do dimetil dietil tolueno (DDT) está baseada no tamanho do animal e não no peso.

2.1.7.2. TOXICIDADE ASSOCIADA

Quando dois ou mais agentes estão presentes, pode haver:

- Efeitos independentes, $A \rightarrow \text{efeito A}$; $B \rightarrow \text{efeito B}$;
- Efeitos aditivos quando as ações tóxicas são similares, efeito $(A+B) = \text{efeito A} + \text{efeito B}$;
- Efeitos sinérgicos, quando as ações tóxicas são mais que aditivas, efeito $(A + B) > \text{efeito A} + \text{efeito B}$;
- Efeitos antagônicos, quando as ações tóxicas são menos que aditivas, efeito $(A + B) < \text{efeito A} + \text{efeito B}$.

2.1.8. RELAÇÃO DOSE RESPOSTA

O entendimento quantitativo da relação entre a dose de um agente tóxico que penetrou no organismo e o tipo e o grau de resposta requer claramente que a magnitude da dose seja expressa em termos da taxa de dosagem efetiva no local crítico dentro do organismo, onde se inicia a resposta do tecido.

Exemplificando, no caso de uma poeira inalada, não é suficiente conhecer a concentração da poeira no ar do ambiente de trabalho e a taxa volumétrica da respiração. O produto dessas duas grandezas fornece a quantidade total de poeira que penetra no sistema respiratório, quando levamos em conta o tempo de exposição. Esse valor assim obtido não é suficiente para explicar de um modo quantitativo que o sistema respiratório tem propriedades seletivas na retenção das poeiras inaladas de diferentes tamanhos e que possui diferentes eficiências de limpeza para as várias poeiras nele depositadas.

Objetivando estabelecer, quantitativamente, uma relação dose resposta no local crítico, deve se estimar:

- Quanto da poeira é inicialmente depositado no sistema respiratório e em que porções do mesmo;
- Com que rapidez e em que grau as poeiras depositadas são removidas pelos mecanismos de limpeza do trato respiratório e dos pulmões;
- Qual a fração da poeira retida que atinge o local crítico dentro dos pulmões, ou outras partes do organismo, para causar o dano. Somente através dessa estimativa quantitativa é possível traduzir a concentração da poeira no ar dispersa no ambiente de trabalho, a taxa volumétrica de respiração e o tempo de exposição, numa medida útil da dose efetiva.

A dose efetiva de poeira de quartzo, em suspensão no ar de um ambiente de trabalho, necessária para produzir silicose, é aparentemente não mais do que um a dois por cento da quantidade total de poeira inalada durante muitos anos de exposição necessária para produzir essa doença. Essa pequena fração residual é também uma fração selecionada, no sentido de que ela não pode ter as mesmas características da poeira original, quer quanto à distribuição de tamanho de partículas, quer quanto à relativa composição de diferentes minerais.

O estudo das dimensões significativas da relação dose resposta enfatiza certos pontos de importância na aplicação da informação toxicológica, para a manipulação de materiais nocivos na ocupação. Deve-se levar em conta não só as propriedades tóxicas gerais do agente nocivo, mas também fatores adicionais modificadores, que intervêm no problema quando o trabalhador encontra o agente sob as condições peculiares de seu trabalho. Esses fatores podem alterar, significativamente, diferentes situações, envolvendo o mesmo agente, mas sob condições diversas, de tal modo que o resultado final (magnitude e natureza do efeito - doença) pode ser perfeitamente diferente para cada caso. Isso está implicado, naturalmente, nas considerações dos problemas de saúde na ocupação, quando se faz à distinção entre a toxicidade básica de uma substância e o grau de dano à saúde criado pelo contato do trabalhador com a mesma.

2.1.9. ESPAÇOS CONFINADOS

O risco de entrada em um espaço confinado necessita de uma abordagem em separado, mesmo que associado aos agentes ambientais descritos anteriormente como: gases, vapores, névoas, fumos e poeiras, pois muitas pessoas foram mortas ou lesionadas porque entram em espaços confinados e que não estavam rigorosamente limpos ou testados (KLETZ, 1993).

Podemos depreender que às vezes, até parece que equipamentos como: vasos de pressão, fornos, caminhões tanques, tanques de armazenamento, etc são mais perigosos vazios que quando cheios e em operação.

A entrada em um espaço confinado pode apresentar uma atmosfera perigosa, oferecendo riscos ao local e expondo os trabalhadores ao perigo de morte, incapacitação, restrição da habilidade para auto-resgate, lesão ou doença aguda, por uma ou mais das seguintes causas:

- Gás, vapor ou névoa inflamável em concentrações superiores a 10% do seu limite inferior de explosividade (LIE);
- Poeira combustível em uma concentração que se encontre ou exceda o limite inferior de explosividade (LIE);

- Concentração de oxigênio atmosférico abaixo de 19,5% ou acima de 23% em volume;
- Concentração atmosférica de qualquer substância cujo limite de tolerância (LT) seja publicado na NR-15 do Ministério do Trabalho e Emprego ou em recomendação mais restritiva da American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), e que possa resultar na exposição do trabalhador acima desse limite de tolerância;
- Qualquer outra condição atmosférica imediatamente perigosa à vida ou à saúde (IPVS).

Considera-se um espaço confinado como: qualquer área não projetada para ocupação contínua, a qual tem meios limitados de entrada e saída e na qual a ventilação existente é insuficiente para remover contaminantes perigosos e/ou deficiência/enriquecimento de oxigênio que possam existir ou se desenvolver (ABNT, 2001), a seguir pode-se exemplificar, através das Figuras 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 e 2.5., os espaços confinados.



Figura 2.1: Exemplo de espaço confinado em navios petroleiros: entrada em boca de visita de um tanque de armazenamento

Fonte: IACS (2003)

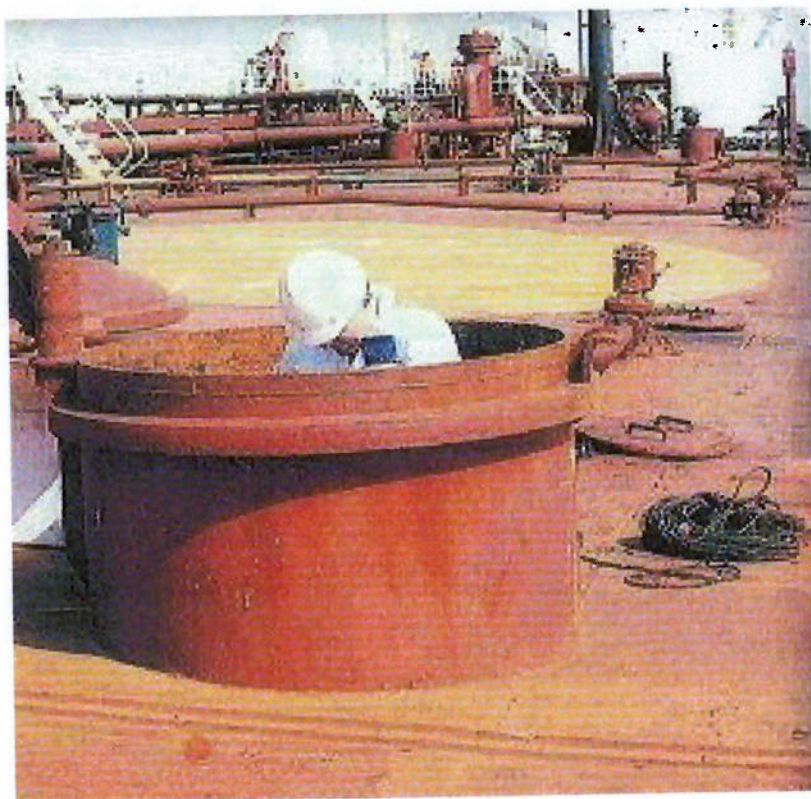


Figura 2.2: Exemplo de espaço confinado em navios petroleiros: entrada em boca de visita de um tanque de armazenamento

Fonte: IACS (2003)



TRABALHADOR

BOCA DE VISITA
FM
CASTELO D'ÁGUA

Figura 2.3: Exemplo de espaço confinado em castelo d'água: acesso à boca de visita

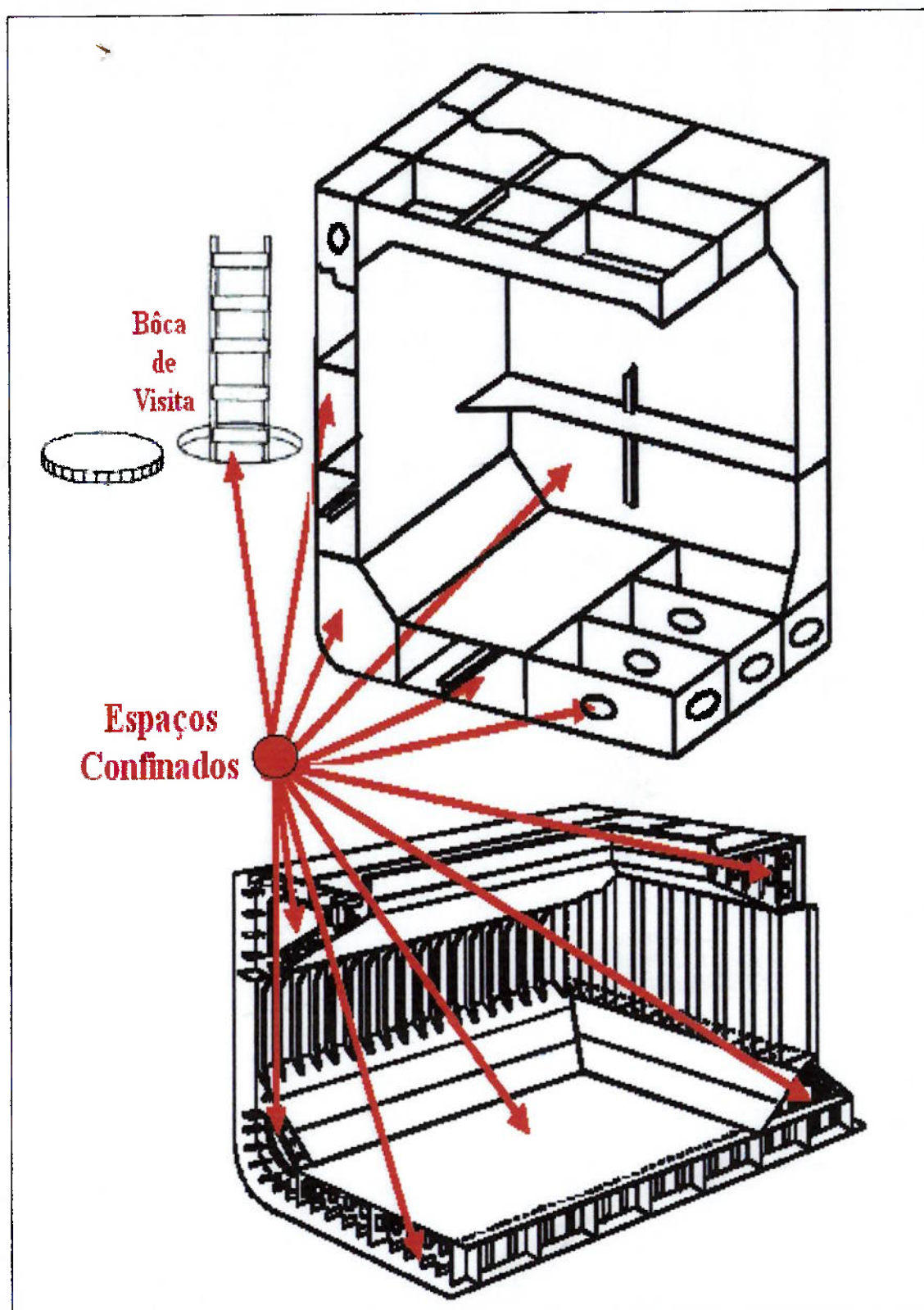


Figura 2.4: Exemplo de espaço confinado em navios petroleiros: corte apresentando o interior de um tanque de armazenamento

Fonte: IACS (2003)

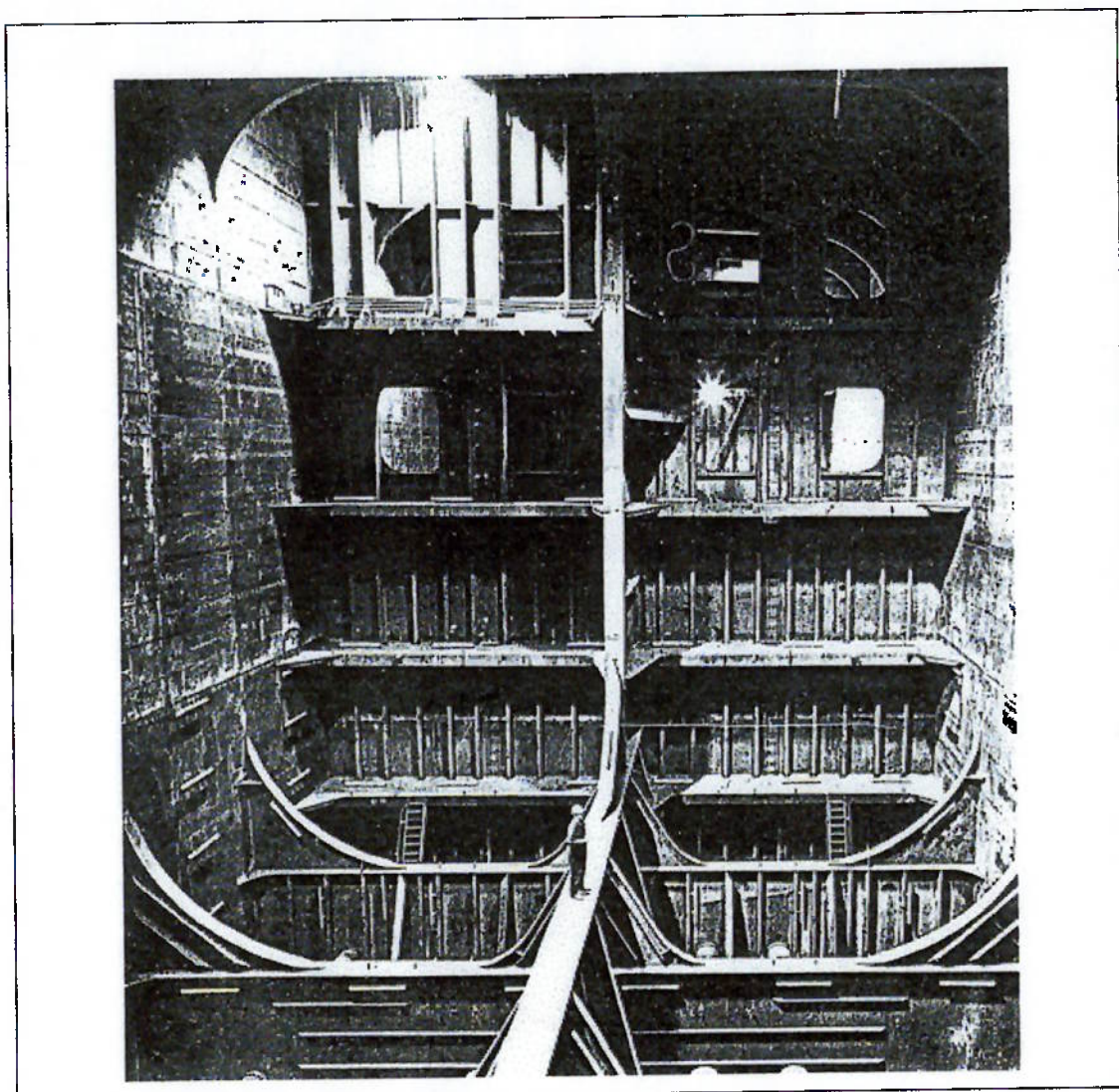


Figura 2.5: Exemplo de espaço confinado em navios petroleiros: corte apresentando o interior de um tanque de armazenamento

Fonte: IACS (2003)

2.1.9.1. ATMOSFERAS DEFICIENTES EM OXIGÊNIO

Uma atmosfera deficiente de oxigênio tem menos de 19,5% de oxigênio (O_2) em volume e em qualquer atmosfera com menos de 20,8% oxigênio (O_2) não deve ser permitida a entrada (IACS, 2003).

O percentual em volume de oxigênio (O_2) em um espaço confinado pode diminuir em função do trabalho que está sendo realizado, tais como: soldagem, corte e solda. Este percentual, também pode ser diminuído através de certas reações

químicas, tais como: oxidação (enferrujamento), pintura que seca ou por ação bacteriana (fermentação).

O percentual em volume de oxigênio (O_2) também pode ser diminuído se o oxigênio (O_2) for deslocado por outro gás, como dióxido de carbono ou nitrogênio nas inertizações.. Na Figura 2.6 apresentam-se os percentuais em volume de oxigênio (O_2) em espaços combinados e as respectivas consequências para o organismo humano.

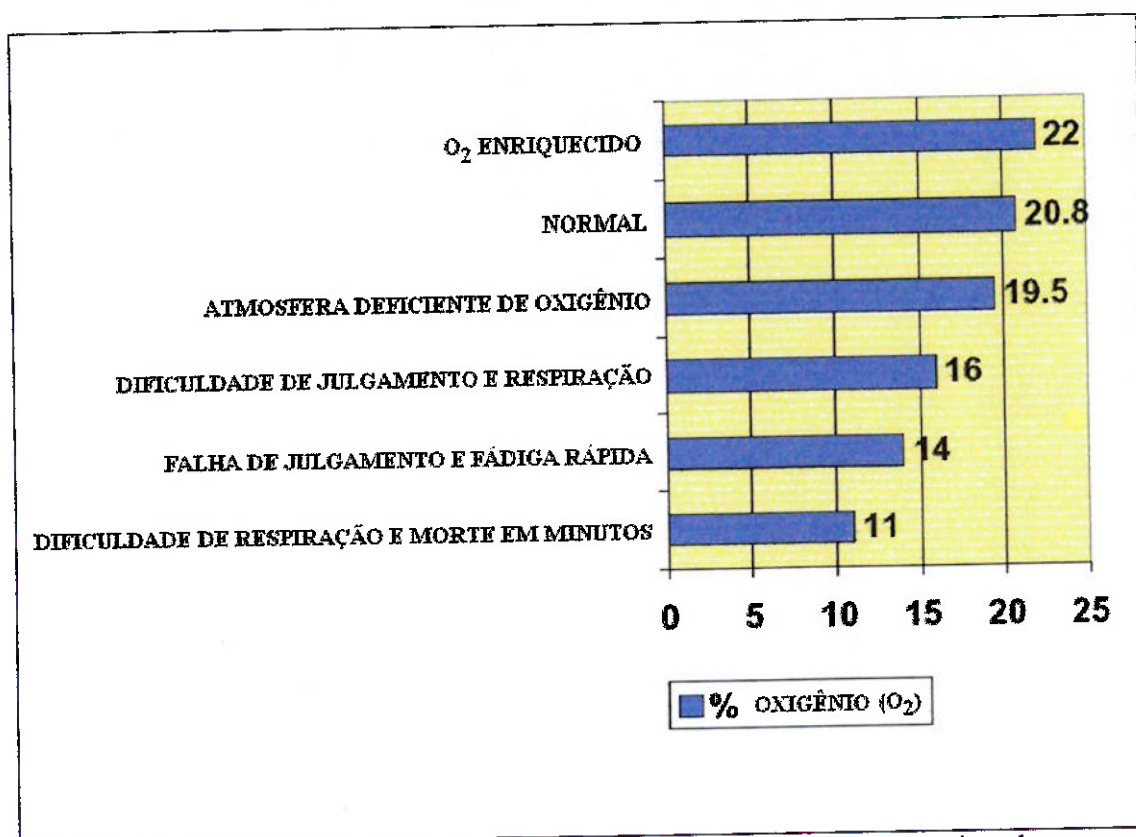


Figura 2.6: Percentuais em volume de oxigênio (O_2) e as consequências para o organismo humano
Fonte: IACS (2003)

2.1.9.2. ATMOSFERAS INFLAMÁVEIS

Para estabelecer uma atmosfera inflamável duas combinações são necessárias: o oxigênio no ar e um gás ou vapor ou poeira inflamável na própria mistura. Gases diferentes têm diferentes faixas de inflamabilidade. Se uma fonte de ignição, como por exemplo: uma ferramenta elétrica, a eletricidade estática,

ferramenta ou processo abrasivo, etc é introduzida em um espaço contendo uma atmosfera inflamável, o resultado poderá ser uma explosão.

Uma atmosfera enriquecida em oxigênio (O_2), ou seja, o percentual em volume de acima de 22,0% (IACS, 2003) ou 23,0% (ABNT, 2001) de oxigênio ocasionará a combustão de materiais inflamáveis e combustíveis, como: cabelo, vestuário, etc. Portanto nunca se usa oxigênio puro para ventilar um espaço confinado, e sim se ventila esse espaço com ar normal.

Na Figura 2.7 apresenta-se o triângulo do fogo relacionado à combinação de oxigênio (O_2), substâncias inflamáveis e calor (fonte de ignição).

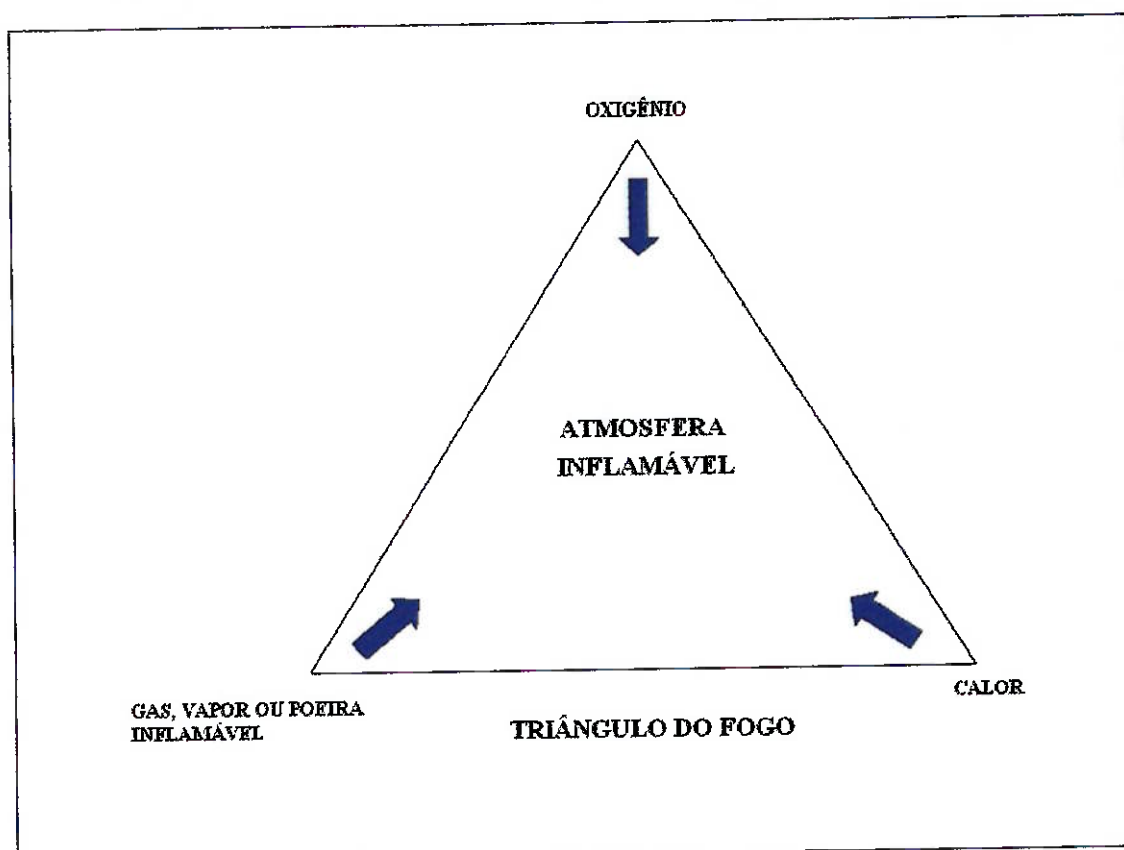


Figura 2.7: Triângulo do fogo

Fonte: IACS (2003)

2.1.9.3. ATMOSFERAS TÓXICAS

A entrada em um espaço confinado pode ser um risco, pois o mesmo pode conter substâncias tóxicas, podendo ser classificadas pelos seus efeitos tóxicos como:

- Não venenos;
- Venenos por concentração;
- Venenos crônicos;
- Venenos cumulativos;
- Venenos aditivos.

Essas substâncias tóxicas podem ser oriundas:

- Do produto que foi armazenado no espaço;
- Da limpeza química do espaço;
- Remoção de borra ou lama do espaço podendo liberar sulfeto de hidrogênio ou metano;
- Do trabalho que será executado em um espaço confinado, que inclua soldagem, pintura, jateamento e utilização de desengraxante, etc.

2.2. CONTROLE DE RISCOS AMBIENTAIS

O controle de riscos ambientais é, basicamente, uma função conjunta da engenharia e da medicina. O reconhecimento da existência de doenças atribuíveis ao ambiente de trabalho, o exercício da supervisão médica e o início de estudos para prevenir e erradicar as condições perigosas são ações pertinentes aos médicos e seus colaboradores; aos engenheiros e seus colaboradores cabem o reconhecimento preliminar dos ambientes de trabalho, a avaliação dos riscos, a indicação e o projeto dos métodos e equipamentos para o controle dos riscos, e a supervisão periódica da eficiência dos mesmos.

2.2.1. SERVIÇOS MÉDICOS

Objetivando a promoção da saúde e bem-estar físico dos trabalhadores, os serviços médicos devem atuar nos seguintes aspectos:

- Prevenção das doenças ocupacionais, estabelecendo uma supervisão médica adequada dos materiais e procedimentos utilizados, do ambiente de trabalho e de seus trabalhadores;
- Conservação da saúde dos trabalhadores, por meio da supervisão física e da educação;
- Restabelecimento da saúde e da capacidade produtiva dos trabalhadores, após os acidentes ou doenças profissionais, através de cuidados médico-cirúrgicos.

O controle de riscos realizado por um serviço médico é atualizado através da prevenção e do tratamento das incapacidades ocupacionais e não ocupacionais, e de investigações dos riscos ocupacionais da saúde. Esses serviços são mais adequadamente prestados quando o departamento médico está subordinado diretamente a gerência. Apresentamos a seguir os procedimentos que devem ser empregados pelos serviços médicos.

2.2.1.1. EXAMES MÉDICOS

No passado, e ainda hoje em alguns casos, os exames médicos, tanto de admissão como periódicos, verificavam se a pedido dos patrões, como uma precaução contra litígios por indenizações e como um meio de reduzir os prêmios de seguros. Por outro lado, as organizações de trabalhadores têm insistido na adoção de estipulações contratuais ou de leis que protejam os trabalhadores contra o uso injusto de exames, mas tem sido esquecido o valor destes para a saúde do trabalhador. O objeto dos exames de admissão e periódicos é, antes de tudo, disponível para a utilização de cada trabalhador.

2.2.1.2. EXAMES DE ADMISSÃO AO TRABALHO

Esses exames são básicos para conservar a saúde do trabalhador. Um dos objetivos importantes é a colocação adequada do trabalhador e, por essa razão o

médico examinador procede com maior acerto quando está bem familiarizado com a indústria a que serve e com os riscos inerentes, o médico obtém tal familiaridade pela inspeção periódica do estabelecimento industrial, inspeção que também lhe serve para determinar as condições perigosas da atividade que possam necessitar correção.

Através da seleção médica dos candidatos a emprego, protege-se a saúde e a segurança dos empregados, excluindo-se os portadores de doenças contagiosas, de doenças mentais e de doenças e lesões de incapacidade. Esses exames devem incluir aspectos como a história clínica do trabalhador e de sua família (anamnese geral) e a história ocupacional (anamnese profissional); esta última é extremamente importante, pois pode proporcionar uma idéia da condição física atual do trabalhador, que pode ter sido agravada por trabalhos perigosos anteriores.

Além do exame físico geral, devem ser realizados exames físicos especiais, particularmente visão, audição, aparelho cardiovascular, hérnias, varizes, força muscular e defeitos físicos; os exames subsidiários (radiológicos, sorológicos e outros) e as provas de capacidade funcional completam a etapa dos exames clínicos à admissão do trabalhador em determinada atividade.

2.2.1.3. EXAMES PERIÓDICOS

O propósito dos exames periódicos é ajudar a conservar a saúde do trabalhador, assegurando que sua condição física é compatível com as exigências do trabalho; por essas razões, devem ser praticados com suficiente amplitude e freqüência, para que permitam o reconhecimento precoce de uma doença, enquanto encontra-se em seu estado incipiente. Para os trabalhadores não expostos a situações perigosas, é suficiente um exame físico anual. Por outro lado, há muitas operações e exposições industriais que exigem exames mais freqüentes. Ainda que a freqüência desses exames dependa, em grande parte do critério médico examinador, que se supõe um conhecimento completo das condições e exposições da indústria; certas experiências têm conduzido a uma prática uniforme no aspecto dos exames físicos para trabalhadores expostos a substâncias tóxicas.

2.2.1.4. EXAMES EVENTUAIS

Exames médicos para a concessão de licenças, transferências de serviço, volta ao trabalho após ausência prolongada, etc.

2.2.1.5. ASSISTÊNCIA MÉDICA

O tratamento dos casos de emergência de incapacidades ocupacionais é uma função básica do serviço médico, e o tratamento de casos de ambulatorios, que não são de emergência, pode ficar total ou parcialmente a seu cargo, dependendo de vários fatores. Somente em circunstâncias excepcionais justifica-se a cirurgia maior como uma das funções do serviço médico, ainda que o médico da indústria deva manter um íntimo contato com os operários que a sofram.

Outra função básica do serviço médico é o tratamento dos casos de emergência de incapacidades não ocupacionais, ainda que, como nos casos de encaminhamento a especialistas, visitas domiciliares e a assistência médica à família dos trabalhadores devam ser, também, funções de serviço médico.

2.2.1.6. HIGIENE DOS LOCAIS, MATERIAIS, MÉTODOS E CONDIÇÕES DE TRABALHO

Ainda que o controle de prevenção das doenças ocupacionais seja primordialmente uma função de engenharia, o serviço médico desempenha um papel importante na questão. A administração da indústria deve consultá-lo a respeito na introdução de novos materiais ou procedimentos, ou sobre alterações importantes no ambiente da fábrica. Também deve verificar se estão sendo feitas inspeções periódicas sobre os materiais e processos potencialmente perigosos, e se na indústria existe uma comissão de segurança e saúde. Tal serviço deve tomar parte dela e ajudar na prevenção dos riscos ocupacionais, pela análise dos registros de incapacidade e pelo estudo dos casos comprovados ou suspeitos de incapacidades ocupacionais.

2.2.1.7. EDUCAÇÃO SANITÁRIA

Com base nos dados das avaliações individuais de saúde, o departamento médico deve promover no indivíduo uma verdadeira compreensão de seu estado de saúde, fazendo com que encare seus aspectos débeis e fortes, estimulando-o sempre para que melhore sua condição geral. Deve-se aconselhar o trabalhador sobre suas necessidades de nutrição, descanso, recreio e limpeza pessoal e estimulá-lo na adoção de atitudes e hábitos, relacionados com suas outras atividades diárias, que favoreçam um estado ótimo de saúde. Uma última condição para desenvolver a prática da educação sanitária é quando o trabalhador está enfermo, porquanto se encontre em uma atitude receptiva para reter as boas práticas.

2.2.2. MEDIDAS DE ENGENHARIA

Avaliando os riscos e contando com informações sobre a toxicidade dos materiais que estão sendo manipulados, o engenheiro está apto a implantar medidas de prevenção e proteção contra as doenças ocupacionais. Não existem regras pré-estabelecidas para a indicação das medidas ou dos métodos que devem ser estabelecidos para controlar os riscos sanitários industriais, as condições específicas de cada indústria determinam o tipo de proteção a ser empregado. De um modo geral, esses métodos visam à eliminação do agente nocivo ou redução de sua intensidade e/ou quantidade, a prevenção da dispersão do agente nocivo e a proteção do trabalhador. O controle de um agente nocivo raramente é efetuado através de uma única medida, ele usualmente envolve a utilização de uma combinação de métodos ou medidas.

Apresentamos a seguir os princípios básicos mais importantes para prevenir e proteger os trabalhadores dos riscos industriais.

2.2.2.1. ADEQUAÇÃO DO PROJETO, CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO DA MAQUINARIA E EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

Adequadamente, a mais satisfatória medida de controle de riscos de doenças ocupacionais consiste na adoção de medidas preventivas no próprio projeto e construção da maquinaria e equipamentos industriais. Muitos equipamentos de controle instalados em máquinas "não preparadas", mesmo que cuidadosamente projetadas, são paliativos e têm todos os defeitos de uma adaptação. Provavelmente o modo mais interessante de melhorar os ambientes de trabalho consiste na educação dos fabricantes de máquinas e equipamentos industriais, de tal forma que, pelo menos os elementos básicos de controle e de prevenção de agentes nocivos estejam incluídos como parte integrante de cada máquina ou equipamento que conhecidamente acarretam riscos para a saúde e segurança dos trabalhadores. Do mesmo modo que não se vende um automóvel sem faróis, buzina, limpador de pára-brisas, etc., porque o mesmo não pode ser utilizado sem esses acessórios, não se justifica a colocação a venda de uma máquina que possa causar riscos ao trabalhador. Felizmente, hoje em dia, muitas novas indústrias têm se instalado visando à proteção do trabalhador. Algumas indústrias já existentes também estão, embora vagarosamente, mecanizando e modernizando suas instalações, para aumentar a produção, eliminar trabalhos árduos e reduzir os riscos de doenças e acidentes.

A manutenção da maquinaria ou equipamentos é tão importante quanto seu projeto e construção. Deterioração, desgaste, corrosão, abrasão e choque resultam em operação deficiente e se deve a uma inadequada manutenção.

2.2.2.2. SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAIS NOCIVOS POR OUTROS MENOS NOCIVOS OU INÓCUOS

Na realidade, todo e qualquer material pode ser manipulado com segurança, independentemente do risco que representa. Uma prova concludente dessa afirmativa

são as atividades que utilizam energia atômica com segurança, para as mais variadas finalidades.

Entretanto, quando possível, o método mais simples e recomendável para se eliminar um risco químico, é substituir uma substância tóxica por uma atóxica ou menos tóxica. A possibilidade de substituição deve ser o primeiro princípio de controle considerado, para evitar que se instalem medidas de controle mais elaboradas e desnecessariamente custosas. Evidentemente esse método tem limitações, devido a dificuldades técnico-industriais, interesses econômicos, e algumas vezes devido a rotinas e preconceitos. Entre outros, podemos citar 05 (cinco) exemplos onde esse método foi aplicado satisfatoriamente:

- Substituição do carbonato básico de chumbo nos trabalhos de pintura, pelos compostos de titânio e zinco, como óxido de zinco, dióxido de titânio e litopônio (mistura de sulfato de bário e sulfeto de zinco);
- Substituição do benzeno como diluente, na indústria, por tolueno, gasolina e outros derivados do petróleo;
- Substituição do nitrato de mercúrio, na feltragem de peles, por sulfato de sódio e peróxido de hidrogênio;
- Utilização em fundições de granalhas de aço substituindo o jato de areia.
- Utilização de abrasivos artificiais, ao invés de pedras naturais que desprendem pó de sílica.

2.2.2.3. MODIFICAÇÃO DE PROCESSOS E MÉTODOS DE TRABALHO

Se um risco não pode ser controlado pela substituição dos materiais, esse objetivo pode ser possível modificando-se o procedimento ou o sistema de operação. A substituição de métodos manuais por métodos mecanizados pode resultar na eliminação de um risco, como sucedeu nas fábricas de baterias, no ajuste mecânico da pasta de óxido de chumbo para a manufatura das placas, quando a operação era manual, o excesso caía e, depois de seco, produzia poeira de óxido de chumbo.

Entretanto é necessário advertir que, em alguns casos, a mecanização pode agravar uma condição perigosa. Por exemplo, a poeira que se cria na condução mecânica de materiais é geralmente mais intensa que a produzida por métodos manuais e, da mesma forma, a vibração mecânica dos "vazados" de fundições produzem muito mais poeira que a vibração manual.

Podemos citar ainda como outro exemplo da aplicação desse método, a redução de evaporação de solventes nos tanques de desengraxamento, mediante regulagem da temperatura do banho, método de imersão e emersão das peças e proteção contra correntes de ar.

Ao se modificar um método de fabricação, a eliminação de um risco pode provocar o surgimento de um outro. Assim, exemplificando, a substituição da operação de remanchar pela soldadura eliminou um problema de ruídos, mas deu lugar a exposição de gases tóxicos.

2.2.2.4. UMECTAÇÃO

A umectação de poeiras com água é provavelmente o mais antigo método de controle. Ele foi utilizado na indústria cerâmica inglesa há 250 anos. A eficiência desse método depende de dois fatores: do umedecimento da poeira e de sua adequada disposição depois de molhada. Mesmo que a poeira seja molhável, é necessário coletar e dispor o material úmido antes que o líquido evapore e a poeira seja novamente dispersa pelas correntes de ar, ou outras causas.

Como aplicações clássicas desse método, podemos citar a utilização de água nas operações de perfuração em minas, e a aspersão de água sobre as mandíbulas de britadores; nesse último caso, devido ao tipo de operação, devem se praticar observações para que haja segurança de que se logrou um controle adequado, uma vez que as gotículas expelidas para o ar podem conter poeiras. Nas fiações e tecelagens, por imposição tecnológica, a umidade relativa do ar ambiente deve ser mantida entre 60 e 70 % para que o fio não arrebente. Ocasionalmente há o perigo de explosão, devido à eletricidade estática; a umidificação do ambiente evita isso, pois

as partículas finas de algodão, adquirindo peso, devido à umidade, precipitam mais rapidamente.

2.2.2.5. ENCLAUSURAMENTO

O enclausuramento é um princípio de controle muito importante. Muitas operações podem ser enclausuradas ou encerradas, impedindo portanto, o escape dos poluentes. A trituração, a moagem e o peneiramento são operações pulverulentas suscetíveis de encerramento e, da mesma forma, podem-se enclausurar os condutores de materiais, apesar de isso resultar algumas vezes em elevados custos. A limpeza de peças com jato de areia é outra operação suscetível de enclausuramento.

É freqüente, em indústrias, tanques destampados contendo solventes orgânicos, que são bastante voláteis e podem rapidamente formar concentrações perigosas no ambiente como, por exemplo: tetracloreto de carbono contidos em recipientes pequenos destampados. É verdade que, devido a constante manipulação, alguns tanques não podem estar cobertos; contudo muitos deles podem estar tampados a maior parte do tempo, senão a totalidade.

O enclausuramento não é utilizado com a freqüência que deveria, em particular por erros de desenho ou projeto. Quando se empregam tampas móveis, deve se considerar o elemento humano; por indiferença, maldade ou falta de entendimento, não se pode ter a segurança de que as tampas sejam recolocadas; a instalação de coberturas auto-selantes, ou dispositivos similares, pode apresentar resultados satisfatórios.

2.2.2.6. ISOLAMENTO

Muitas indústrias têm operações que produzem considerável poluição do ambiente de trabalho, porém requerem atenção imediata de apenas um pequeno número de trabalhadores. Se localizada indiscriminadamente dentro da fábrica ou se efetuada em certos horários, tais operações expõem desnecessariamente muitos

outros trabalhadores a uma quantidade de poluentes. Segregando ou isolando essas operações, somente alguns trabalhadores estariam expostos, os quais poderiam ser protegidos por medidas complementares.

Por exemplo, com frequência, pode-se instalar uma trituradora em um edifício separado ou em um andar diferente daquele onde trabalham os operários; dessa forma, ninguém é exposto à poeira, exceto o operário encarregado de comprovar sua operação, que teria exposições breves e intermitentes.

O princípio do isolamento também se verifica quando algumas operações excessivamente poluidoras são efetuadas fora de turnos, como por exemplo, temos a recuperação das areias de fundição por peneiramento fora do horário de trabalho. Outro exemplo é a varredura dos locais de trabalho, que deveria ser feita no fim do período de trabalho. Nas indústrias onde o piso deve ser mantido limpo, pode-se proceder a essa limpeza com aspiradores.

2.2.2.7. EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL

Entre os elementos e equipamentos de proteção individuais encontramos alguns que são empregados por motivos de segurança do trabalho, ou seja, têm o objetivo de prevenir danos, e outros cujo objetivo é prevenir doenças profissionais, isto é, são usados por motivos de higiene do trabalho. No primeiro grupo, cujo objetivo é a segurança, encontramos as seguintes categorias:

- Vestuário protetor;
- Protetores dos órgãos visuais.

Os elementos para a prevenção de doenças profissionais podem ser divididos como segue:

- Protetores das vias respiratórias;
- Protetores dos ouvidos;
- Luvas e cremes protetores.

Sob o aspecto da higiene ocupacional, os equipamentos individuais de proteção devem ser considerados como um recurso defensivo de ordem secundária, cuja utilização jamais poderá ter preferência sobre o emprego das medidas de

proteção coletiva. Eles constituem a última linha de defesa e podem, a rigor, ser renunciados. Contudo; onde deveriam ser usados, como deveriam ser selecionados, e como deveriam ser utilizados e mantidos, é compreendido adequadamente somente por um pequeno número de técnicos. Encontram uso abusivo devido a seu relativo baixo custo quando comparado com a maioria das outras medidas de controle, e pelo fato de poderem ser empregados de imediato.

2.2.2.8. ORDEM, LIMPEZA E CONSERVAÇÃO

Além da importância que têm por si mesmo como recursos preventivos, a ordem, a limpeza e a conservação dos locais, máquinas e equipamentos constituem a base geral indispensável ao rendimento eficiente dos métodos descritos, e a prática tem demonstrado que são, na maioria das indústrias, um bom índice do programa de higiene ocupacional.

Uma boa ordem, limpeza e conservação, significam limpeza dos pisos, das máquinas e de quaisquer superfícies horizontais, previsão de depósitos para materiais nocivos e de métodos adequados a seu transporte e emprego, conservação da maquinaria para impedir vibrações desnecessárias ou escapes de material, disposição das operações de modo a limitar o número de operários expostos a um risco, e a aplicação de métodos de limpeza que, por si mesmos, não provoquem a agitação de grandes concentrações de poeira.

A execução de um programa de ordem, limpeza e conservação da planta requerem um planejamento cuidadoso e um esforço contínuo e regular, unido a atividades educativas, para lograr a cooperação de cada trabalhador.

2.2.2.9. VENTILAÇÃO

Por fim, a ventilação de processos e operações que emitem contaminantes e a ventilação de ambientes em geral constitui, um dos mais importantes métodos de controle, e sua apresentação representa o principal objetivo deste trabalho. Consiste

na movimentação do ar por meios naturais ou mecânicos, quer introduzindo-o em um ambiente (insuflação), quer retirando o desse ambiente (exaustão).

O ar entra e sai continuamente de todo recinto ou edifício através das portas, janelas, fendas e outras aberturas. Se essa troca de ar é causada por condições naturais, diz-se que a ventilação é natural; se for efetuada por ventiladores ou outros meios mecânicos, a ventilação é chamada de mecânica ou artificial.

Dentro de recintos e edifícios, o ar é mantido em circulação por diferenças de pressão e temperatura, pela movimentação dos ocupantes e equipamentos, e/ou por ventiladores.

2.3. VENTILAÇÃO GERAL

A importância da presença do ar em todos os ambientes de trabalho está além de sua conhecida, mas esquecida, importância como fonte de oxigênio para o metabolismo do homem. Inicialmente o ar é o elemento que, de maneira contínua e permanente, independentemente dos meios artificiais, mantém o contato direto entre o ambiente ocupacional e o meio ambiente geral. Contendo vapor d'água e estabelecendo a temperatura natural do ambiente, é responsável pela sensação de conforto térmico; sendo o meio material de propagação das ondas sonoras, tem sua importância no conforto acústico; é um veículo que transporta as impurezas nele suspensas e dispersas, até as vias de penetração e absorção do organismo; transporta essas mesmas impurezas do ambiente externo ao ocupacional e vice-versa.

Devido a esses fatos, sua movimentação no ambiente do trabalho, conhecida como ventilação, quer provocada por meios naturais, quer por meios artificiais, deve ser criteriosamente planejada, executada e alterada quando necessária, a fim de que sejam prevenidos danos à saúde, segurança e bem-estar dos trabalhadores e inclusive danos à propriedade.

Essa movimentação do ar na distância entre dois pontos, por meios naturais ou mecânicos, processa-se pelo estabelecimento de uma diferença de pressão.

Evidentemente o ar pode ser condicionado artificialmente. Segundo a ASHRAE (1985) o "Ar condicionado é o processo de tratamento do ar de modo a

controlar simultaneamente a temperatura, a umidade, a pureza e a distribuição, para atender as necessidades do recinto condicionado", ocupado ou não pelo homem. As aplicações do ar condicionado são inúmeras, podendo ser citadas entre outras, as seguintes:

- Processos de fabricação de certos produtos que devem ser feitos em recintos com umidade, temperatura e pureza controladas; por exemplo fabricação de produtos farmacêuticos, impressão de cores, salas de desenho de precisão, etc;
- Conforto do indivíduo e produtividade;
- Hospitais - salas de operação e de recuperação, quartos para tratamento doentes alérgicos.

2.3.1. CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO

Podem-se classificar os sistemas de ventilação segundo as principais finalidades a que se destinam (MESQUITA, 1988), conforme a seguir:

- Ventilação geral (por insuflação, por exaustão, ou por insuflação-exaustão);
- Ventilação local (por exaustão do ar, junto à fonte de produção de um poluente nocivo à saúde antes de sua dispersão na atmosfera ambiente).

2.3.1.1. VENTILAÇÃO GERAL PARA MANUTENÇÃO DO CONFORTO E EFICIÊNCIA DO HOMEM

É conseguida através de:

- Do restabelecimento das condições atmosféricas alteradas pela presença, do homem;
- Da refrigeração do ar ou do homem;
- Do aquecimento do ar no inverno.

2.3.1.2. VENTILAÇÃO GERAL PARA MANUTENÇÃO DA SAÚDE E SEGURANÇA DO HOMEM

É conseguida através de:

- Da redução da concentração de aerodispersóides nocivos até que baixe a valores compatíveis com a saúde;
- Da manutenção da concentração de gases, vapores e poeiras, inflamáveis ou explosivos, fora das faixas de inflamabilidade ou de explosão.

2.3.1.3. VENTILAÇÃO PARA CONSERVAÇÃO DE MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

É aplicável em função de uma imposição tecnológica, ou seja, ensaios e equipamentos que necessitam de condições ambientais controladas por controle de temperatura, umidade relativa do ar, etc.

2.3.1.4. VENTILAÇÃO LOCAL

A ventilação local visa, basicamente, à manutenção da saúde e da segurança do trabalhador, embora tenha influência, até certo ponto, nas condições relacionadas a seu conforto e eficiência.

2.3.2. NECESSIDADES HUMANAS DE VENTILAÇÃO

A ventilação de residências, espaços comerciais e escritórios é necessária para controlar odores corporais, fumaça de cigarro, odores de cozinha e outras impurezas odoríferas, e não para manter a quantidade necessária de oxigênio ou remover o

dióxido de carbono produzido pela respiração. Isso é verdadeiro, pois a construção padrão de edifícios para ocupação humana não pode prevenir a infiltração ou a saída de substâncias e de quantidades de ar, mesmo quando todas as janelas, portas e aberturas no forro estiverem fechadas. Dados publicados sobre as quantidades de ar normalmente disponíveis pela ventilação natural ou infiltração indicam que a sufocação por deficiência de oxigênio ou excesso de gás carbônico como resultantes da respiração humana, é potencialmente impossível em construções não subterrâneas (MESQUITA, 1988).

2.3.2.1. COMPOSIÇÃO DO AR

A composição aproximada do ar sobre três diferentes condições é dada na Tabela. 2.1. Simples cálculos, demonstrarão que o homem não requer mais do que algumas centenas de pés cúbicos ($1\text{ft}^3 = 28,3 \text{ l}$ ou $28,3 \times 10^{-3} \text{ m}^3$) de ar por hora para satisfazer suas demandas de oxigênio e diluir o dióxido de carbono em concentrações não nocivas. Um homem, mesmo em trabalhos pesados, respira cerca de 40 litros de ar por minuto, consome cerca de 2,0 litros de oxigênio, e produz cerca de 1,7 litro de dióxido de carbono (MESQUITA, 1988).

Mackey oferece uma interessante hipótese sobre as alterações físicas e químicas que ocorrem com o ar interno em um ambiente como resultado da ocupação humana (MACKEY, 1948 apud MESQUITA, 1988). Um adulto em repouso usa em um minuto cerca de 240 ml de oxigênio e produz cerca de 200 ml de dióxido de carbono. A $21,1^\circ\text{C}$ (70°F), ele perde, em uma hora, cerca de 0,09 KWh (300 Btu) de calor sensível e 0,05 Kg (0,1 libras) de vapor d'água. Admitindo-se que se um adulto confinado em um ambiente completamente vedado e termicamente isolado, com 28.320 l (1.000 pés³) de volume, inicialmente a $21,1^\circ\text{C}$ (70°F) (ignorando se a umidade), a temperatura aumentará para $37,8^\circ\text{C}$ (100°F), em menos de duas horas, enquanto que serão necessárias 75 horas para reduzir o oxigênio para 16,0 % e aumentar o dióxido de carbono para 5,0 % (MACKEY, 1948 apud MESQUITA, 1988). Nesse caso extremo, a alteração física é mais perigosa do que a alteração química.

Tabela 2.1: Composição do ar (porcentagem em volume)

Componente	Ar externo (seco)	Ar interno (21°C, U.R. 50%)	Ar expirado (36°C, U.R. 100%)
Gases inertes	79,00	78,00	75,00
Oxigênio	20,97	20,69	16,00
Vapor d'água	0,00	1,25	5,00
Dióxido de carbono	0,03	0,06	4,00

Fonte: MESQUITA (1988)

2.3.2.2. O DIÓXIDO DE CARBONO COMO UM ÍNDICE DAS NECESSIDADES DE VENTILAÇÃO

Experiências realizadas concluíram que a concentração de dióxido de carbono no ar de ambientes ocupados não é um índice adequado das necessidades de ventilação, sob o ponto de vista de suprimento de ar exterior e intensidade de odor (MESQUITA, 1988), na Tabela 2.2 estão descritas as quantidades de ar externo por pessoa e ambiente.

Tabela 2.2: Quantidades recomendadas de ar externo por pessoa no ambiente

Ar externo (pés³/min.pessoa)	Tipo de espaço ou ocupação
5-10	Bancos, auditórios, igrejas, teatros, grandes lojas, espaços onde não se fuma, etc.
10-15	Apartamentos, barbearias, institutos de beleza, quartos de hotel, espaços onde se fuma pouco
15-20	Lanchonetes, restaurantes, quartos de hospitais, espaços onde se fuma moderadamente
20-30	Bares, escritórios privados, espaços onde se fuma bastante
30-60	Salas de reuniões, boates, espaços onde se fuma demasiadamente

Fonte: MESQUITA (1988)

2.3.2.3. EFEITO DO TAMANHO DO AMBIENTE OCUPADO EM FUNÇÃO DAS NECESSIDADES DE VENTILAÇÃO

Grandes salas têm uma vantagem sobre as pequenas pois agem como reservatórios permitindo que os odores do corpo desapareçam com um mínimo suprimento de ar exterior e que haja máxima eficiência de ventilação. Uma pequena sala irá requerer um maior suprimento de ar por pessoa para controle de odores. A Tabela 2.3 apresenta as necessidades de ar para diluição de odores corporais, mostrando o que foi anteriormente mencionado.

Tabela 2.3: Quantidades recomendadas de ar externo por pessoa no ambiente

Volume do espaço (pés ³ /pessoa)	Suprimento de ar exterior (pés ³ /min.pessoa)	Tipo de ocupante
100	29	Escolas de crianças
100	25	Adultos sedentários
200	21	Escolas de crianças
200	16	Adultos sedentários
300	17	Escolas de crianças
300	12	Adultos sedentários
500	11	Escolas de crianças
500	7	Adultos sedentários

Fonte: MESQUITA (1988)

2.4. CASOS DE ACIDENTES EM ESPAÇOS CONFINADOS NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS

2.4.1. ENTRADA EM ESPAÇO CONFINADO COM ATMOSFERA DE RISCO

Um homem estava pisando em uma escada, pronto para descer por uma boca de visita do sistema de esgoto para bloquear algumas linhas internas. O sistema continha sulfeto de hidrogênio (H_2S) e por isso ele portava um respirador, sem ter ainda colocado a máscara por estar fora do poço, com seus pés ao nível do chão (Figura 2.8). Ele estava ajustando as guarnições quando seus dois companheiros ouviram um grito e o viram escorregando pelo poço, mas não conseguiram segurá-lo. Seu corpo só foi resgatado no último bueiro. Ele tinha sido afetado pelo gás sulfídrico que emanava do esgoto, embora seu rosto estivesse a 1,5 m acima do solo (KLETZ, 1993).

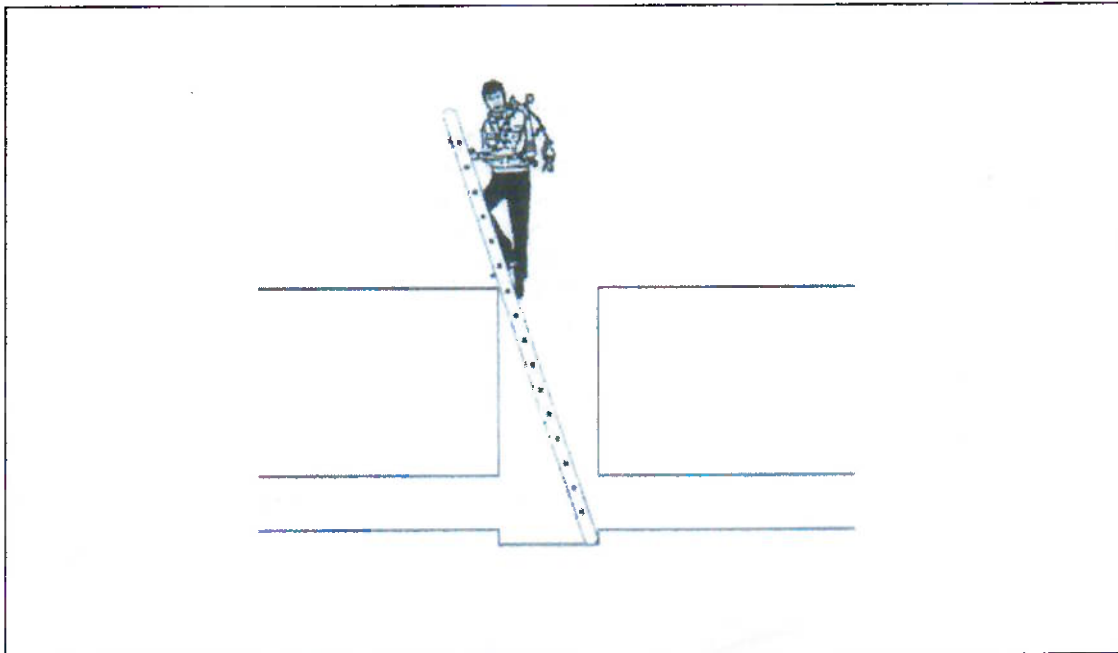


Figura 2.8: Acidente em poço (espaço confinado)

Fonte: KLETZ (1993)

O acidente mostra que, se um poço ou espaço confinado contém gás sulfídrico ele pode afetar as pessoas a mais de um metro da sua abertura.

Este acidente evidencia que precauções especiais são necessárias para a entrada em vasos, tanques, poços, em fim em espaços confinados contendo muito gás ácido ou pouco oxigênio, onde há imediato perigo de vida. Em muitos casos, os respiradores são usados porque a atmosfera é desagradável ou pode causar dano se respirada por muitas horas. Apenas em raras ocasiões é necessário entrar em vasos nos quais a atmosfera é irrespirável. Em tais casos, duas pessoas com treinamento em resgate e ressuscitação ficam de prontidão fora do vaso, tendo disponível todo o equipamento necessário para resgatar o homem no interior do vaso (KLETZ, 1993).

2.4.2. ACIDENTE NA HICKSON E WELCH LTDA

Este acidente ocorreu em Castleford no Reino Unido, no dia 21 de setembro de 1992, na empresa Hickson & Welch Limited. Suas características nos mostram, que entre outras causas, houve falha na avaliação dos riscos pelos responsáveis pela liberação do trabalho, bem como pelas pessoas que o estavam executando (HSE, 1994).

O trabalho consistia na limpeza interna de um vaso de destilação, que se encontrava fora de operação. Era a primeira limpeza interna que se estava fazendo neste equipamento, desde de que foi instalado na área de nitrotoluenos em 1961. Esta limpeza consistia na remoção de 34,0 cm de borra com o auxílio de rodos.

Foi coletada uma amostra da borra por um dos operadores da planta. A borra era arenosa com a consistência de manteiga macia, estas informações foram passadas a gerência, contudo não foi enviada nenhuma amostra para se efetuar as análises físico-químicas. A atmosfera no interior do vaso não foi analisada e nenhuma medição de inflamabilidade foi efetuada. Partiu-se do princípio, erradamente, que a borra consistia num piche termicamente estável. Para amolecer a borra, que possuía uma espessura de 34,0 cm, foi admitido vapor à serpentina de fundo do equipamento. A orientação era de que a borra aquecida não ultrapasse a 90,0 °C.

Os empregados iniciaram a limpeza interna, posicionados do lado de fora do equipamento, utilizando um rodo de metal para a retirada da borra. O resíduo foi aquecido e já se encontrava amolecido com parte já em estado líquido. Após uma hora do início da limpeza um rodo de metal mais longo foi usado para alcançar partes mais distantes dentro do equipamento. A medida da temperatura do vaso na sala de controle, indicava 48,0 °C e foram dadas instruções para se bloquear a admissão de vapor.

A aproximadamente 13h20min, os empregados envolvidos na limpeza do lado esquerdo do vaso paralisaram a limpeza e iniciaram outras tarefas. Um destes empregados que havia interrompido a limpeza do lado esquerdo em cima de um andaime, notou uma luz azul que virou imediatamente uma chama alaranjada. Ele imediatamente saltou do andaime e um jato cônico incandescente estourou da boca de manutenção, projetando-se horizontalmente em direção a sala de controle. Um jato vertical de vapor incandescente foi projetado de uma abertura na parte superior do vaso, em direção ao topo de uma coluna de destilação próxima. O jato de fogo durou aproximadamente um minuto, antes de baixar, gerou diversos focos de incêndio localizados ao redor da boca de manutenção e nos edifícios próximos. A força do jato de fogo destruiu o andaime, e projetou a tampa da boca de manutenção contra a sala de controle. O jato de fogo danificou severamente a sala de controle e gerou vários focos de incêndio dentro deste edifício.

Neste acidente morreram cinco empregados e foram necessários vinte e dois monitores de incêndio e mais de cem bombeiros atuando no combate aos incêndios.

Podemos levantar várias falhas nas medidas técnicas da Hickson & Welch como: falha gerencial, falha de manutenção, falha na operação, falha na avaliação de risco, falha no procedimento de Permissão para Trabalho e falha de projeto.

Houve falha gerencial, pois a decisão de aguardar trinta anos para a retirada de operação do equipamento, já que seria esperado um tempo menor de campanha para se realizar a limpeza interna.

Houve falha de manutenção, pois foram utilizadas ferramentas inadequadas para se efetuar a limpeza, ou seja, utilizar um rodo de metal para remover a borra, com um atmosfera interna inflamável, era esperado nestes casos a utilização de ferramentas a prova de explosão ou que não provocassem faíscas.

Houve falhas na operação:

- Pois não houve solicitação de análises físico-químicas da borra, era esperado que fossem identificados os perigos em potencial do seu aquecimento e a liberação de gases inflamáveis;
- Ao não verificar a concentração de gases inflamáveis na atmosfera interior do vaso, era esperado uma verificação periódica dos percentuais de explosividade no interior do vaso;
- Ao efetuar o controle de temperatura, da borra, utilizando um indicador de temperatura localizado fora do produto, era esperado um controle de temperatura imerso na borra;

Houve falhas no procedimento de Permissão para Trabalho:

- Pois foram emitidas duas permissões para trabalho uma para a abertura da boca de manutenção do vaso e outra para limpar no entorno do vaso. Nenhuma permissão foi dada para a tarefa de limpeza interna do vaso. Era esperado para este caso o perfeito entendimento do trabalho que deveria ser executado e os limites de sua execução;
- No isolamento da abertura do vaso, pois foi autorizada a sua abertura, contudo era esperado que após a sua abertura fosse provido o isolamento da abertura, de forma que nenhuma limpeza ou entrada não autorizada fosse realizada.
- Houve falha nos procedimentos de avaliação e gestão de riscos, pois não houve identificação e eliminação das fontes de ignição, bem como, a identificação das áreas eletricamente perigosas.
- Houve falhas de projeto, já que a sala de controle e o prédio da administração localizavam-se bem próximos à planta de processamento, era esperado que esta localização fosse afastada, seguindo um critério de aceitação de risco.

2.4.3. ACIDENTE NO NAVIO TANQUE NC JURUPEMA

Este acidente ocorreu a bordo do Navio Cisterna JURUPEMA , no dia 21 de agosto de 2003, na Baía de Campos no litoral norte fluminense; de propriedade da TRANSPETRO/FRONAPE.

Por cerca das 19h30min o Rebocador Far Centurion se posicionou por Bombordo do Navio Cisterna Jurupema para efetuar a descarga de resíduo oleoso para o *slop* tanque¹ de Bombordo deste Navio Cisterna. O contramestre movimentou o guindaste para recolher o mangote de quatro polegadas do rebocador e tão logo o posicionou na altura da varanda do convés principal, o bombeador pegou e o arrastou pelo convés até as proximidades do *slop* tanque. O contramestre se dirigiu para o poço de ré, para buscar um tambor vazio, que seria utilizado na parte externa do *slop* tanque para fixar o mangote. Outro bombeador, que estava de folga , aguardava no escritório do navio e ao avistar da vigia do rebocador no costado, resolveu descer ao convés principal para verificar a manobra. Ao chegar no convés caminhou em direção ao *slop* tanque, e quando se encontrava a uma distância de quatro metros, viu por alguns segundos o rosto do bombeador que estava trabalhando, surgindo do interior desse tanque e em seguida caindo para dentro do mesmo.

Imediatamente gritou pelo contramestre, que estava mais à ré movimentando um tambor, e utilizaram o rádio *walk talk* para dar o alarme, passando a informação do ocorrido ao imediato. O bombeador que estava de folga foi para a entrada (boca) do tanque, onde pode ver o bombeador caído no primeiro patamar, a cerca de 3 metros abaixo do convés principal. O Contramestre foi ao Centro de Controle de Carga e trazendo duas máscaras de fuga, retornou ao convés e entrou no *slop* tanque, onde tentou colocar uma das máscaras no rosto do Bombeador, mas não conseguiu – segundo ele pela perda de tempo no esforço de movimentar o corpo do acidentado e por saber que a autonomia da máscara é de 5,0 minutos. Nesse ínterim foi providenciado um conjunto autônomo (contendo ar comprimido para 30 minutos), que foi utilizada pelo marinho de máquinas, que adentrou ao tanque tão logo o Contramestre saiu do mesmo. O marinho de máquinas conseguiu passar um cabo

¹ Slop tanque é um tanque de resíduos oleosos.

em volta do tórax do acidentado e ajudou a erguê-lo com a ajuda dos que estavam no convés, que puxaram o cabo para cima.

Finalmente o marinheiro de máquinas, empurrou o corpo do bombeador para cima ao mesmo tempo em que alguns tripulantes puxavam do convés o cabo amarrado ao corpo do acidentado e o colocaram no convés principal. Considerando que após a retirada do acidentado pôde-se constatar que o mangote estava amarrado dentro do tanque, na varanda do primeiro patamar, podendo-se concluir que: o bombeador desceu até o primeiro patamar para amarrar o mangote e por ter respirado em atmosfera com hidrocarbonetos e baixo teor de oxigênio, não teve força suficiente para subir toda a escada e sair do tanque, acabando por cair no interior do mesmo, quando já estava prestes a sair; conforme relatou o bombeador, que estava de folga, que chegou a ver rapidamente o rosto do bombeador na altura do domo (tampa do tanque), onde ocorreu a queda.

Dentre as causas imediatas pode-se destacar:

- A entrada em espaço confinado sem a verificação das condições da atmosfera, ou seja, o monitoramento com oxímetro e explosímetro de modo a se assegurar que a atmosfera contivesse 20,8 % de O₂ em volume e no máximo 1,0 % de limite inferior de explosividade (LIE) (IACS, 2003).

Dentre as causas básicas pode-se destacar que:

- Os riscos envolvidos da ação foram subestimados pela equipe ao adotar práticas inseguras para tais serviços.

2.5. VENTILAÇÃO

A ventilação geral diluidora é o método de insuflar ar em um ambiente ocupacional, de exaurir ar desse ambiente, ou ambos, a fim de promover uma redução na concentração de poluentes nocivos. Essa redução ocorre, uma vez que, ao introduzirmos ar limpo, ou não poluído, em um ambiente contendo uma certa massa de um determinado poluente, faremos com que essa massa seja dispersa ou diluída em um volume maior de ar, reduzindo, portanto, a concentração desses poluentes. A primeira observação a ser feita é a de que esse método de ventilação não impede a

emissão dos poluentes para o ambiente de trabalho, mas simplesmente dilui esses poluentes.

A alternativa a esse tipo de ventilação é a ventilação local exaustora, que capta os poluentes junto à fonte de emissão antes que sejam emitidos ao ambiente ocupacional. Este último método é sempre preferível à ventilação geral diluidora, especialmente quando o objetivo do sistema de ventilação é a proteção da saúde do trabalhador.

Em casos onde não é possível ou não é viável a utilização de ventilação local exaustora, a ventilação geral diluidora pode ser usada. Os objetivos de um sistema de ventilação geral diluidora podem ser:

- Proteção da saúde do trabalhador reduzindo a concentração de poluentes nocivos abaixo de um certo limite de tolerância;
- Segurança do trabalhador reduzindo a concentração de poluentes explosivos ou inflamáveis abaixo dos limites de explosividade e inflamabilidade;
- Conforto e eficiência do trabalhador pela manutenção da temperatura e da umidade do ar do ambiente;
- Proteção de materiais ou equipamentos mantendo condições atmosféricas adequadas (impostas por motivos tecnológicos).

A aplicação com sucesso da ventilação geral diluidora depende das seguintes condições:

- O poluente gerado não deve estar presente em quantidade que excede à que pode ser diluída com um adequado volume de ar;
- À distância entre os trabalhadores e o ponto de geração do poluente deve ser suficiente para assegurar que os trabalhadores não estando expostos a concentrações médias superiores aos *threshold limit values* (TLV);
- A toxicidade do poluente deve ser baixa, ou seja, deve ter um alto TLV;
- O poluente deve ser gerado em uma quantidade razoavelmente uniforme.

A ventilação geral diluidora, além de não interferir com as operações e processos industriais, é mais vantajosa que a ventilação local exaustora, nos locais de trabalho sujeitos a modificações constantes, e quando as fontes geradoras de poluentes se encontrarem distribuídas por local de trabalho.

A ventilação geral diluidora pode não ser vantajosa, pelo custo de operação elevado, sobretudo quando há necessidade de aquecimento do ar, nos meses de inverno; contudo seu custo de instalação é relativamente baixo quando comparado com o da ventilação local exaustora. É conveniente a instalação de sistemas de ventilação geral diluidora quando há interesse na movimentação de grandes volumes de ar na estação quente.

Diversas razões levam a não utilização freqüente da ventilação geral diluidora para poeiras e fumos. A quantidade de material gerado é usualmente muito grande, e são difíceis de se obter dados seguros sobre taxa de geração de poeiras e fumos. Além disso, o material pode ser muito tóxico, requerendo, portanto, uma excessiva quantidade de ar de diluição.

2.5.1. COMPONENTES DE UMA INSTALAÇÃO DE VENTILAÇÃO GERAL DILUIDORA

Os componentes de uma instalação de ventilação geral diluidora dependem das especificidades do projeto a que se destina. Na Figura 2.9 exemplificamos a instalação mais completa, com os seguintes componentes:

- Tomada de ar externo;
- Filtro;
- Ventilador de insuflamento;
- Dutos,
- Bocas de insuflamento;
- Bocas de exaustão;
- Ventilador de exaustão;

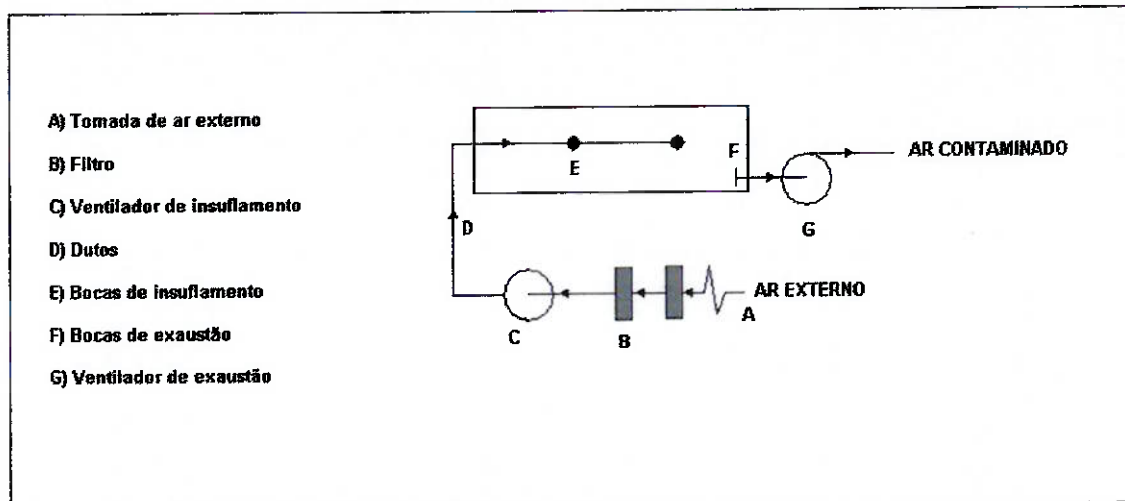


Figura 2.9: Componentes de uma instalação de VGD

Fonte: CLEZAR (1999)

2.5.2. EFEITO DIRECIONAL DO JATO DE AR

O efeito direcional do jato de ar é importante, pois podemos observar na Figura 2.10 a comparação, em relação à velocidade de face, entre um insuflamento e sucção com dutos de mesmo diâmetro.

No insuflamento, na distância, de 30,0 diâmetros do duto tem-se velocidade da ordem de 10 % da velocidade de saída do jato.

Na exaustão, na distância, de 1,0 diâmetro do duto tem-se velocidade da ordem de 10 % da velocidade de sucção.

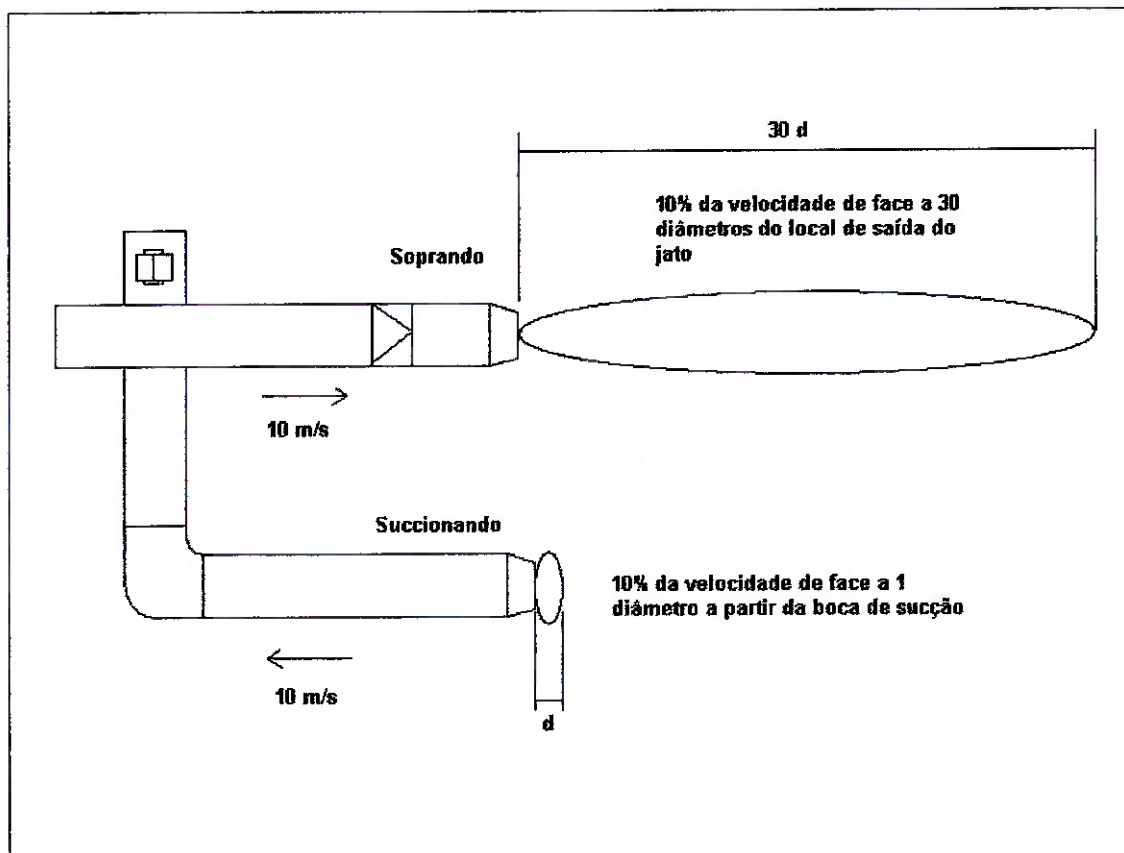


Figura 2.10: Efeito direcional do jato

Fonte: CLEZAR (1999)

2.5.3. TIPOS DE VENTILAÇÃO GERAL DILUIDORA

A ventilação geral diluidora por meios mecânicos pode ser feita por insuflamento, por exaustão, ou ainda por um sistema misto.

Na ventilação por insuflamento, um ventilador sopra o ar novo para dentro do recinto ventilado. A pressão do ar no interior do ambiente, P_s , torna-se maior do que a pressão do ar da vizinhança, P_e , tornando o ambiente pressurizado. Este diferencial de pressão ($P_s - P_e$), é responsável pela saída do ar para a vizinhança pelas aberturas específicas e frestas.

Neste tipo de ventilação, pode-se tirar partido do efeito direcional do jato, podendo orientá-lo para finalidades específicas como, por exemplo, no sentido de se obter um alto grau de movimentação junto aos ocupantes do ambiente, objetivando uma melhoria no conforto, ou então um alto grau de mistura, reduzindo localmente a concentração do contaminante no ambiente. Este tipo de ventilação permite ainda o

controle da qualidade do ar, quer seja pela localização adequada da tomada de ar novo ou pelo tratamento do ar captado, com exemplo filtrando-se o mesmo.

Na ventilação por exaustão, um ventilador succiona o ar contaminado para fora do recinto ventilado. A pressão do ar no interior do ambiente, P_s , torna-se menor do que a pressão do ar da vizinhança, P_e , tornando o ambiente despressurizado, ou com pressão negativa. Este diferencial de pressão, $(P_e - P_s)$, é responsável pela entrada do ar novo da vizinhança pelas aberturas específicas.

Neste tipo de ventilação é muito difícil controlar a pureza do ar novo, em função do número de aberturas e, principalmente, das frestas existentes. Em contrapartida, permite facilmente o controle da pureza do ar a ser lançado no ambiente externo.

Um terceiro tipo de montagem possível é aquela obtida pela combinação dos dois tipos anteriores, ou seja, um sistema misto de ventilação. Neste tipo de ventilação, dependendo da razão entre as vazões de insuflamento ou exaustão de ar, podemos ter o ambiente interno sob pressão positiva ou negativa.

A seleção do tipo de ventilação a ser adotada pelo projetista depende de inúmeros fatores; todavia, há casos em que um ou outro tipo se impõe.

Por exemplo, a ventilação de sanitários e cozinhas deverá manter os ambientes em pressão negativa, evitando que os contaminantes e odores gerados se espalhem para os ambientes vizinhos.

No caso da ventilação de um recinto que não deva ser contaminado pelo ar da vizinhança, o tipo de ventilação a ser adotado é aquele que mantenha o ambiente sob pressão positiva, de modo que a troca de ar seja sempre do recinto ventilado para a vizinhança. Se por alguma razão torna-se necessária a canalização do ar novo e de exaustão, o sistema misto apresenta a flexibilidade de poder atender esta situação, mantendo os ambientes em pressão positiva ou negativa, conforme a necessidade.

Na Figura 2.11 pode-se ver uma síntese dos três tipos de ventilação geral diluidora descritos.

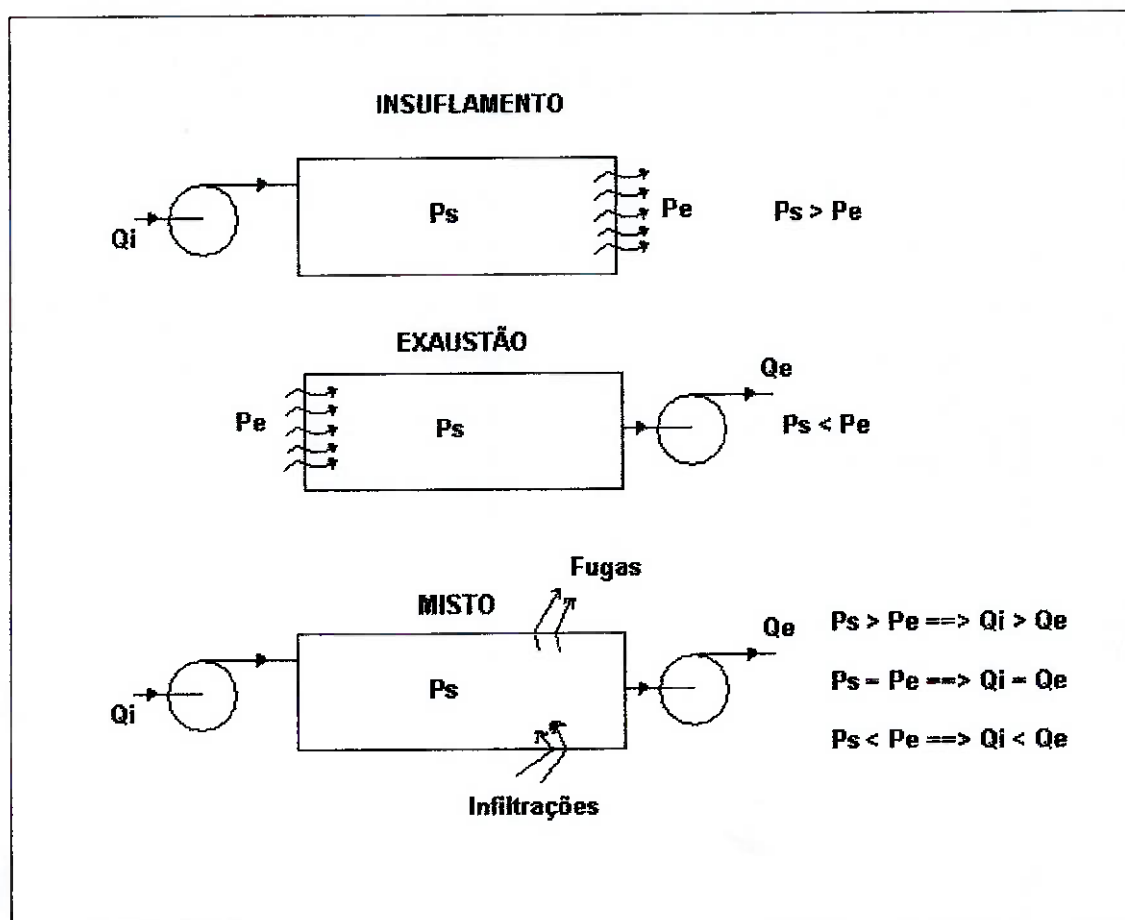


Figura 2.11: Tipos de VGD

Fonte: CLEZAR (1999)

As principais vantagens e desvantagens dos sistemas ventilação geral diluidora estão resumidas na Tabela 2.4.

Tabela 2.4: Comparação entre os tipos de ventilação geral diluidora

Elemento	Insuflamento	Exaustão
Pressão ambiente	Positiva	Negativa
Pureza de ar novo	Com controle	Sem controle
Efeito direcional de ar	Existente	Não existente

Fonte: CLEZAR (1999)

2.5.4. COMPORTAMENTO DE GASES E VAPORES

A ação da gravidade sobre um volume de gás ou vapor é determinada pelo peso médio de todas moléculas gasosas contidas na mistura, e não simplesmente pelas moléculas do gás ou vapor. Além disso, as misturas moleculares são permanentes, não havendo separação espontânea das moléculas mais pesadas das mais leves. A relação de massas específicas com significado em qualquer sedimentação é:

$$\frac{\text{massa específica do ar e vapor}}{\text{massa específica do ar}} \quad (2.1)$$

A concentração máxima possível que pode ser atingida por qualquer vapor está limitada pela pressão de vapor do solvente na determinada temperatura. Sendo k a concentração percentual máxima e p_{vap} a pressão de vapor do líquido em mm Hg, então

$$k = \frac{P_{vap}}{760} \times 100 \quad (2.2)$$

O peso molecular médio de uma mistura vapor / ar é a média ponderada de acordo com a porcentagem. Sendo o peso molecular do ar 29, temos

$$P_{mol\ med} = \frac{kP_{mol}(vapor) + (100 - k)29}{100} \quad (2.3)$$

Esse peso molecular médio, dividido pelo peso molecular do ar, representa a densidade da mistura.

Exceto em ocorrências acidentais, normalmente não são encontradas, nas indústrias, concentrações próximas às máximas citadas. Concentrações da ordem de 0,1 a 0,5 % em volume podem ser tomadas como máximas encontradas normalmente em trabalhos de ventilação.

2.5.5. TAXA DE VENTILAÇÃO

Entende-se por taxa de ventilação a vazão de ar que o sistema de ventilação geral diluidora introduz ou retira de um ambiente é usualmente dada em m^3/min ou $\text{pé}^3/\text{min}$. Quando, em um ambiente de volume V , um sistema de ventilação geral diluidora faz atravessar um volume de ar igual ao volume do ambiente (V), diz-se que ocorre uma troca de ar nesse ambiente, ou seja,

$$\text{número de trocas de ar / min} = \frac{\text{taxa de ventilação (m}^3/\text{min)}}{\text{volume do ambiente (m}^3\text{)}} \quad (2.4)$$

O número de trocas de um ambiente é dado, portanto, por unidade de tempo, ou seja, por minuto ou hora.

Muitas vezes, em ventilação geral diluidora e especialmente em ventilação para conforto térmico, os requisitos ou recomendações de vazão são dadas em número de trocas de ar por minuto. O cálculo da taxa de ventilação requerida para se obter uma concentração desejada k_d pode ser dada por;

$$Q = G \times \frac{387}{P_{\text{mol}}} \times \frac{10^6}{k_d} \quad (2.5)$$

Onde Q é a taxa de ventilação ($\text{pé}^3/\text{min}$); G é a taxa de geração da substância que se quer diluir (lb/min); 386 o volume de 1 lb mol de qualquer gás a 70°F e 1 atm; P_{mol} o peso molecular da substância que se quer diluir (lb); e k_d a concentração desejada no ambiente (ppm em volume). O valor a ser imposto a k_d (concentração desejada) vai depender dos objetivos a que se destina a ventilação diluidora, como explicado a seguir.

2.5.6. VENTILAÇÃO DILUIDORA PARA PROTEÇÃO DA SAÚDE DO HOMEM

Nesse caso, a concentração desejada no ambiente deve ser inferior ao limite de tolerância (TLV) para a substância poluente. Dessa forma, o valor mínimo para a taxa de ventilação seria dado pela Equação 2.5, fazendo-se k_d igual ao limite de tolerância da substância. A esse valor mínimo da taxa de ventilação adiciona-se um certo valor, a título de segurança. Esse coeficiente de segurança pode ser introduzido na Equação 2.5, tal como segue.

- Utilizando-se um valor para a concentração desejada inferior ao TLV. Por exemplo, para solventes industriais, Hemeon selecionou valores bons de projeto e chamou esses valores de VDC (ventilation design concentration) (HEMEON, 1964 apud MESQUITA, 1988). Os valores de VDC foram determinados dividindo-se o valor do TLV por um certo coeficiente de segurança K maior do que um. Esse coeficiente K levou em conta não só a toxicidade da substância como também suas propriedades odoríferas. Na Tabela 2.5 apresenta esses valores de VDC.

Tabela 2.5: Concentração desejada para vários solventes industriais

Substância	VDC (ppm)	Substância	VDC (ppm)	Substância	VDC (ppm)
Acetato de butila	75	Álcool butílico	25	Butilcelosolve	25
Acetato de isopropila	75	Álcool isopropílico	150	Éter isopropílico	50
Acetato de metilamila	75	Álcool de metilamílico	25	Metilcelosolve	25
Acetato de propileno	75	Tetracloroetano	5	Tetracloroetileno	100
Acetona	150	Acetato de amila	75	Benzol	25
Álcool etílico	250	Dicloroetileno	25	Isoforona	10
Celosolve	50	Acetato de celosolve	50	Clorofórmio	25
Cidoexanol	50	Cicloexanona	25	Ortodicloro benzeno	50
Cloreto de metila	200	Metiletilcetona	150	Metilisobutilcetona	150
Dioxano	25	Éter etílico	75	Acetato de etila	75
Éter butílico	25	Dissulfeto de carbono	7	Tetracloroeto de carbono	25
Mesityl Oxide	10	Metanol	100	Acetato de metila	75
Pentacloroetano	2	Éter de petróleo	500	Nafta	200
Toluol	100	Tricloroetano	100	Tricloroetileno	100

Fonte: Mesquita (1988)

- Utilizando se, para a concentração desejada (kd), o valor de TLV e multiplicando se a Equação 2.5 por um certo valor de K maior que um, sendo K o coeficiente de segurança ($K \geq 1$). Dessa forma pode-se reescrever a Equação 3.4, conforme a seguir.

$$Q = G \times \frac{387}{P_{mol}} \times \frac{10^6}{TLV} \times K \quad (2.6)$$

O valor de K vai depender dos seguintes fatores distribuição do ar no ambiente (entradas e saídas do ar); toxicidade do poluente; variação da taxa de evolução da substância.

Os valores de K usualmente variam de 1,5 a 10,0, sendo bastante comuns valores entre 3 e 10. A título de recomendação a Tabela 2.6 apresenta os valores de K a serem utilizados, contudo antes da apresentação da tabela algumas considerações são importantes:

- Considera-se uma substância altamente tóxica quando $TLV \leq 100$ ppm;
- Moderadamente tóxica quando $100 < TLV < 500$ ppm;
- Levemente tóxica quando $TLV \geq 500$ ppm;
- Não se recomenda ventilação geral diluidora para substâncias altamente tóxicas;
- Devem-se usar valores superiores de K quando a taxa de geração da substância é variável.

Tabela 2.6: Valores recomendados para o coeficiente de segurança (K)

Tipo de entrada e saída de ar	Substância altamente tóxica	Substância moderadamente	Substância levemente
Teto perfurado para entrada de ar	Não recomendável	3	1,5
Bons difusores para entrada de ar	Não recomendável	3 - 6	2 - 3
Janelas para entrada de ar e exaustores de parede para saída do ar	Não recomendável	6 - 10	3 - 6

Fonte: Mesquita (1988)

2.5.7. VENTILAÇÃO GERAL DILUIDORA PARA EVITAR FOGO OU EXPLOSÃO

Aqui o objetivo é reduzir a concentração abaixo do menor valor no qual o risco de incêndio, ou explosão possa, ocorrer. Dessa forma, o valor da concentração desejada (k_d) será inferior ao limite inferior de inflamabilidade ou de explosividade. Dessa forma pode-se reescrever a Equação 2.5, conforme a seguir.

$$Q = G \times \frac{387}{P_{mol}} \times \frac{10^2}{LIE} \times \frac{f_s}{B} \quad (2.7)$$

Onde o limite inferior de explosividade (LIE), é expresso em porcentagem; f_s , um fator de segurança que depende da porcentagem do limite inferior de explosividade, necessária para condições de segurança; na maioria dos fornos e secadores, tem sido desejável manter concentrações de vapores não superiores a 25 % do LIE; em fornos contínuos adequadamente ventilados, usa se $f_s = 4$; e B é uma constante que leva em consideração o fato de que o limite inferior de explosividade diminui, aumentando a temperatura ($B = 1$ para $T < 250$ °F e $B = 0,7$ para $T > 250$ °F).

Em fornos intermitentes, com boa distribuição de ar, a existência de picos requer $f = 10$ a 12. Em fornos sem recirculação ou fornos intermitentes ou, ainda, em fornos contínuos impropriamente ventilados, pode ser necessário utilizar maiores valores para f_s .

Deve-se enfatizar que esse conceito nunca é aplicado onde trabalhadores estão expostos ao vapor. Em tais casos, são aplicadas taxas de ventilação para controle do risco, à saúde. Os TLV são sempre inferiores aos LIE.

2.5.8. VENTILAÇÃO DILUIDORA PARA MISTURAS DE SUBSTÂNCIAS

Quando duas ou mais substâncias estão presentes, o efeito combinado deve ser levado em consideração. Na ausência de informação contrária, os efeitos de diferentes riscos devem ser considerados aditivos, isto é, a soma das frações.

$$\sum_{i=1}^n \frac{k_i}{TLV_i} \quad (2.8)$$

Sendo k_i a concentração da substância i no ambiente ($i = 1, 2, \dots, n$). Quando a soma exceder a unidade, o TLV- limite de tolerância da mistura deverá ser

considerado como excedido. Nesse caso, a quantidade de ar requerida para diluir cada componente da mistura é calculada e a soma é utilizada como a taxa de ventilação de ar requerida para a mistura.

Onde duas ou mais substâncias nocivas estão presentes, e se conhece que os efeitos das diferentes substâncias não são aditivos, mas agem independentemente, a requerida ventilação diluidora para cada componente da mistura deve ser calculada e a maior deve ser usada como a taxa de diluição

2.5.9. TAXA DE ALTERAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE UMA SUBSTÂNCIA EM UM AMBIENTE VENTILADO

Em um ambiente ventilado, com uma taxa de ventilação Q , onde uma substância está sendo constantemente emitida para o ambiente a razão de G (lb/min ou g/min), a concentração dessa substância no ambiente irá variar com o tempo, tendo se em vista a taxa de geração (G) e a taxa de ventilação (Q). Em outras palavras, em certo intervalo de tempo, será introduzida no ambiente uma certa massa da substância, bem como uma certa massa de ar limpo, fazendo com que a concentração dessa substância varie com o tempo nesse ambiente.

Se, em um ambiente cuja concentração de uma substância é zero ($k_0 = 0$), começarmos a emitir essa substância a uma taxa de geração (G), por exemplo, em lb/min, e esse ambiente for ventilado a uma taxa de ventilação (Q), por exemplo, em pé³/min, a concentração irá crescer com o tempo, tendendo a atingir o valor máximo (G/Q) para um tempo infinito, conforme a equação 2.9.

$$k = \frac{G}{Q} [1 - e^{-Qt/V}] \quad (2.9)$$

Se, em um ambiente cuja concentração de uma substância é diferente de zero ($k_0 \neq 0$), e a taxa de geração da substância é zero, sendo esse ambiente ventilado com uma taxa de ventilação, a concentração irá decrescer, tendendo ao valor zero para o tempo tendendo a infinito, conforme a equação 2.10.

$$k = k_0 e^{-Qt/V} \quad (2.10)$$

Se, em um ambiente a geração de uma substância ocorre intermitentemente, ou seja, em um primeiro intervalo de tempo, $G \neq 0$, no segundo, $G = 0$, no terceiro, $G \neq 0$, e assim sucessivamente. Se o ambiente for ventilado com uma taxa de ventilação Q , teremos uma sucessão dos casos primeiro e segundo. A variação da concentração com o tempo poderá ser descrita, aplicando-se a sucessivamente para cada intervalo de tempo, e considerando se a concentração inicial de um intervalo como sendo a concentração final do intervalo anterior, conforme a equação 2.11.

$$k_{\max} = \frac{G}{Q} \left[\frac{1 - e^{-Qt/V}}{e^{-Qt/V} - e^{-Qt/V}} \right] \quad (2.11)$$

Em todos esses casos, estamos admitindo que o ar que entra no ambiente é limpo no que se refere à substância que está sendo gerada no ambiente, ou seja, a concentração da substância no ar de entrada é igual a zero.

Nos casos onde há uma concentração de entrada (k_0 diferente de zero), as equações para os cálculos da concentração, para as três situações descritas anteriormente devem ser revistas (MESQUITA, 1988).

2.5.10. RENOVAÇÃO DE AR AMBIENTE

Várias medidas podem ser tomadas para se evitar a exposição de pessoas a condições de alta temperatura. Por exemplo, enclausuramento de e isolamento de fontes quentes, vestimentas e barreiras protetoras, diminuição do tempo de exposição, etc. Na presente pesquisa restringe-se às medidas relativas à ventilação de ambiente sem entrar em detalhes sobre condicionamento de ar.

Vários enfoques podem ser seguidos para ventilar o ambiente, contudo utilizaremos o critério sugerido por Clezar que pode ser visto na Tabela 2.7.

Tabela 2.7: Critérios sugeridos para projetos gerais de ventilação de ambientes para controle de odores

Área funcional	Trocas por hora	pés ³ /min por pessoa
Hospitais (salas de anestesia)	8-12	—
Salas de animais	12-16	—
Auditórios	10-20	10
Hospitais (salas de autópsia)	8-12	10
Padaria e confeitaria	20-60	—
Boliches	15-30	30
Igrejas	15-25	5
Hospitais (salas de cistoscopia)	8-10	20
Salas de aula	10-30	40
Salas de conferência	25-35	—
Corredores	3-10	—
Hospitais (salas de parto)	8-12	—
Leiterias	5-15	—
Lavagem de pratos	30-60	—
Lavagem a seco	20-40	—
Fundações	5-20	—
Ginásios	—	1,5/pé quadrado
Garagens	6-30	—
Hospitais (salas de hidroterapia)	6-10	—
Hospitais (salas de isolamentos)	6-10	—
Manutenção e limpeza	8-12	—
Cozinhas	10-30	—
Lavanderias	10-60	—
Bibliotecas	15-25	10
Salas de depósito	2-15	—
Pequenas oficinas	8-12	—
Equipamentos mecânicos	8-12	—
Hospitais (suprimentos)	6-10	—
Berçários	10-15	—
Escritórios	6-20	10
Hospitais (salas de operação)	10-15	—
Pinturas e polimentos	18-22	—
Radiologia	6-10	—
Restaurantes	6-20	10
Lojinhas	18-22	10
Residências	5-20	—
Equipamentos telefônicos	6-10	—
Salas de controle de tráfego aéreo	18-22	10
Toiletes	8-20	—
Salas de transmissores e receptores	aumento de 10 °F	—
Soldas a arco voltaico	18-22	—

Fonte: ASHRAE (1985)

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada na presente pesquisa tem o objetivo de responder as seguintes perguntas:

- Como delimitar um caso que está sendo estudado?
- Como determinar os dados relevantes que devem ser coletados?
- O que deverá ser feito com os dados após a coleta?

Com esse objetivo foi desenvolvido este trabalho. Objetivando exemplificar o controle adequado da poluição com uma adequada ventilação das operações e processos poluidores da atmosfera, seguindo-se uma escolha adequada de um equipamento para a coleta dos poluentes captados pelo sistema de ventilação.

No segundo capítulo da pesquisa é feita uma conceituação dos riscos, a descrição dos agentes ambientais, suas ações fisiológicas, suas ações tóxicas, bem como a descrição do controle médico e das medidas de engenharia na perspectiva de prevenção das doenças ocupacionais. Para o conceito de risco destacamos a entrada em espaços confinados como um risco presente nas indústrias, bem como são descritos alguns exemplos de acidentes ocorridos nesses espaços nas indústrias de petróleo e gás, possibilitando um aprendizado, mesmo que doloroso, do controle dos riscos de trabalho nesses ambientes.

No terceiro capítulo são apresentados os materiais e a metodologia utilizada. Materiais que descrevem a utilização da ventilação geral diluidora como forma de controle de dispersão de contaminantes no ambiente industrial, como forma de promover a diluição das concentrações de poluentes, como forma de evitar as concentrações geradoras de risco de incêndio e como forma de promover a manutenção do conforto térmico. Na metodologia destaca-se o estudo de caso como forma de pesquisa, fornecendo uma forma de aplicação dos conceitos apreendidos.

No quarto capítulo são apresentados os resultados dos conceitos aplicados ao estudo de caso.

No quinto capítulo faz-se uma discussão e implementação de técnica para a situação de trabalho, provendo padrões e procedimentos de trabalho seguro em espaços confinados.

No sexto capítulo a conclusão busca-se ressaltar a contribuição do estudo para a indústria e ratificar a importância da ventilação industrial, como disciplina que está permanentemente ligada ao nosso dia-a-dia.

3.1. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

O levantamento bibliográfico foi realizado através de bases de dados nacionais e internacionais. Foram consultados endereços eletrônicos da Internet de instituições que atuam na área de segurança e saúde do trabalho, além de visitas a bibliotecas especializadas para consulta de livros, dissertações, teses e periódicos.

Através do levantamento bibliográfico, foram obtidas informações sobre a ventilação industrial e a ventilação geral diluidora.

3.2. ESCOPO DA PESQUISA

A pesquisa realizada abordou os aspectos referentes à ventilação industrial, tendo enfoque na sua elaboração e implementação um trabalho desenvolvido em espaço confinado. A pesquisa não envolveu temas como segurança de processo, meio ambiente e saúde ocupacional embora exista uma inter-relação entre eles.

Apesar da aplicação de normalização técnica específica para trabalhos em espaço confinado (ABNT, 2001), não foram aprofundadas as discussões referentes ao gerenciamento de espaços confinados, ou seja, a aplicação de programas procedimentos e treinamentos para a entrada nesses espaços.

3.3. MEIOS PARA COLETA DOS DADOS DE CAMPO

A coleta dos dados de campo, referente ao estudo de caso, foi feita através dos seguintes meios:

- Em entrevistas com supervisores e engenheiro responsáveis pelo trabalho;

- Na especificação técnica do contrato;
- No memorial descritivo do trabalho;
- Na Análise Preliminar de Perigo (APP)² realizada;
- Em visita ao local de trabalho.

3.4. VARIÁVEIS SELECIONADAS PARA O ESTUDO DE CASO

Com base nos objetivos da ventilação geral diluidora, foram selecionadas as seguintes variáveis:

- A redução da concentração de poluentes nocivos abaixo de um certo limite de tolerância;
- A redução da concentração de poluentes explosivos ou inflamáveis abaixo dos limites de explosividade e inflamabilidade;
- A manutenção da temperatura e da umidade do ar do ambiente para conforto e eficiência do trabalhador.

3.5. UM ESTUDO DE CASO

Nos capítulos anteriores foi destacada a importância da ventilação industrial, como medida de engenharia na obtenção de um ambiente de trabalho seguro e adequado as condições de conforto do homem.

Depreendemos que a disciplina de ventilação industrial está presente no dia-a-dia de instalações: de produção, comerciais, residenciais, de pesquisa, etc.

Com o objetivo de aplicar os conceitos utilizados na disciplina de ventilação industrial e experiências das indústrias de petróleo e gás, tanto do seguimento de transporte marítimo quanto do seguimento de refino e produção, utilizamos como estudo de caso uma determinada obra, em que os aspectos ligados à ventilação

² Análise Preliminar de Perigos (APP) é uma ferramenta de análise de risco utilizada no Centro de Pesquisas onde se fez o estudo da aplicação da ventilação geral diluidora.

seriam de fundamental importância na obtenção de um ambiente de trabalho seguro e adequado as condições de conforto dos trabalhadores envolvidos.

3.5.1. DESCRIÇÃO DA REGIÃO E INSTALAÇÃO

Na década de 50 as atividades de pesquisa da Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS) se concentravam na área industrial, tendo em vista a política nacional de substituição de importações e a necessidade de instalação do parque de refino brasileiro.

Em 1963, foi aprovada a criação do CENPES, um órgão voltado exclusivamente para as atividades de pesquisa e desenvolvimento, e coordenação institucional das tecnologias que movem a PETROBRAS.

Em 1973, inaugurando uma nova fase de atuação, o CENPES passou a ocupar um conjunto de prédios na Ilha do Fundão, também no Rio de Janeiro, reunindo condições materiais e ambientais adequadas às novas prioridades.

Em 1975, recebeu o nome pelo qual é conhecido atualmente - Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello, ou CENPES.

As pesquisas realizadas pelo CENPES são reconhecidas internacionalmente e posicionam o Brasil entre os países detentores de tecnologia de ponta da indústria do petróleo.

3.5.2. DESCRIÇÃO GEOGRÁFICA DA REGIÃO

3.5.2.1. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

O CENPES está situado na Quadra 7 da Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, com 45.000 m² de área construída. Tem como vizinhos à esquerda o Centro de Pesquisas da ELETROBRAS (CEPEL), à direita o Instituto de Geociências (IGEO) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), aos fundos

o Clube de Empregados da PETROBRAS (CEPE- FUNDÃO) e à frente a Avenida 1, onde está localizada a sua entrada principal. O acesso ao CENPES pode ser feito através da Linha Amarela, Linha Vermelha e pela Avenida Brasil. Na Figura 3.1 é apresentada a localização do CENPES na Ilha do Fundão.



Figura 3.1: Vista do CENPES

Fonte: CENPES (2005)

3.5.2.2. DADOS METEOROLÓGICOS DA REGIÃO

Os valores de umidade média do ar ambiente, velocidade do vento e classe de estabilidade foram obtidos junto à INFRAERO para a região de interesse. Os dados de temperatura e direções dos ventos foram fornecidos pelo PETROBRAS/CENPES (MD-0201-5132-941-PPC-001). Estes dados são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Dados meteorológicos da região

Temperatura		
Temperatura de bulbo seco máxima (°C)		35,0
Temperatura de bulbo úmido máxima (°C)		26,1
Umidade		
Umidade relativa do ar ambiente (%)		79,0
Ventos		
Velocidade média (m/s)		1,0
Classe de estabilidade		D (neutra)
Direções predominantes (% do tempo)	Noroeste	20,81
	Oeste	16,97
	Sudeste	15,24
	Sul	12,94
	Este	11,05
	Sudoeste	10,42
	Norte	8,79
	Nordeste	3,79

Fonte: INFRAERO e CENPES (2006)

3.5.3. IDENTIFICAÇÃO DO LOCAL DE TRABALHO

O CENPES possui um castelo d'água com uma altura de aproximadamente 55,0 m, sendo que na Figura 3.2 pode-se ver castelo a estrutura de andaimes e o elevador cremalheira, bem como nas Figuras 3.3 e 3.4 são apresentados os croquis com a vista superior e vista frontal, respectivamente.



Figura 3.2: Andaimos, elevador cremalheira e castelo d'água no CENPES

Fonte: CENPES (2006)

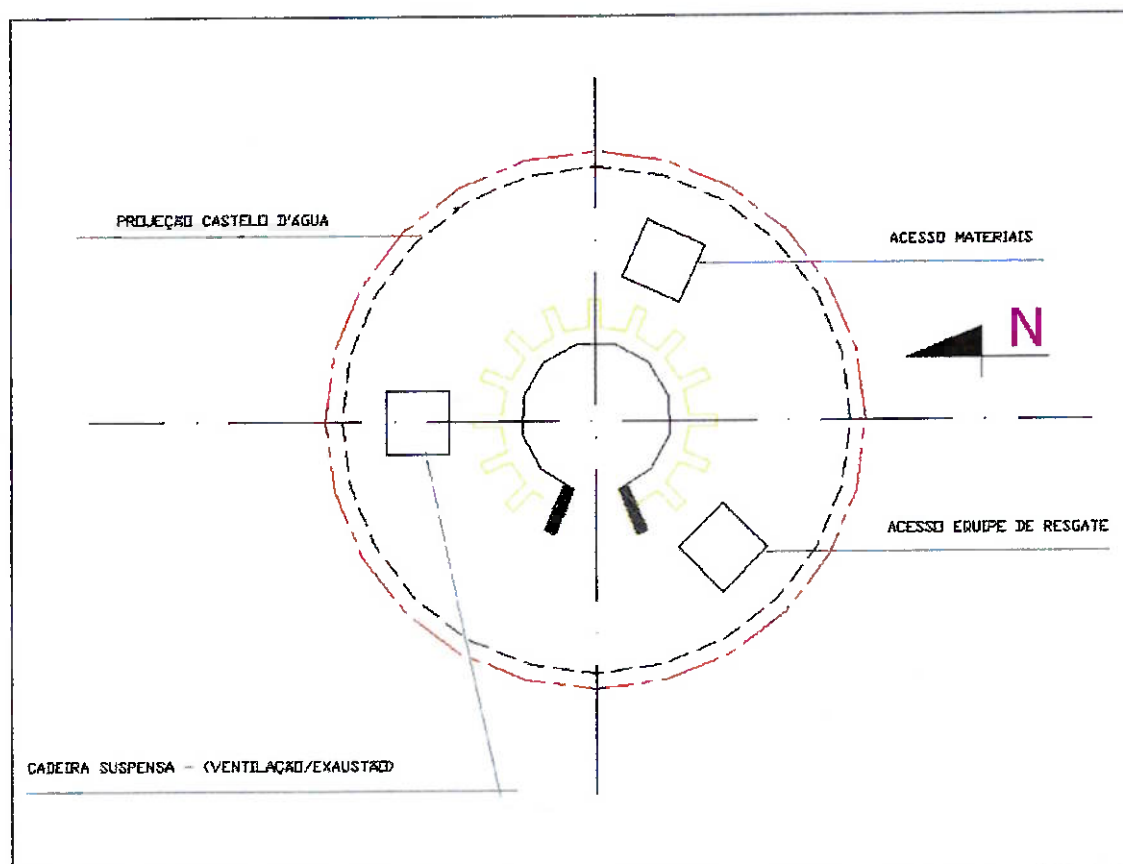


Figura 3.3: Vista superior do castelo d'água

Fonte: CENPES (2005)

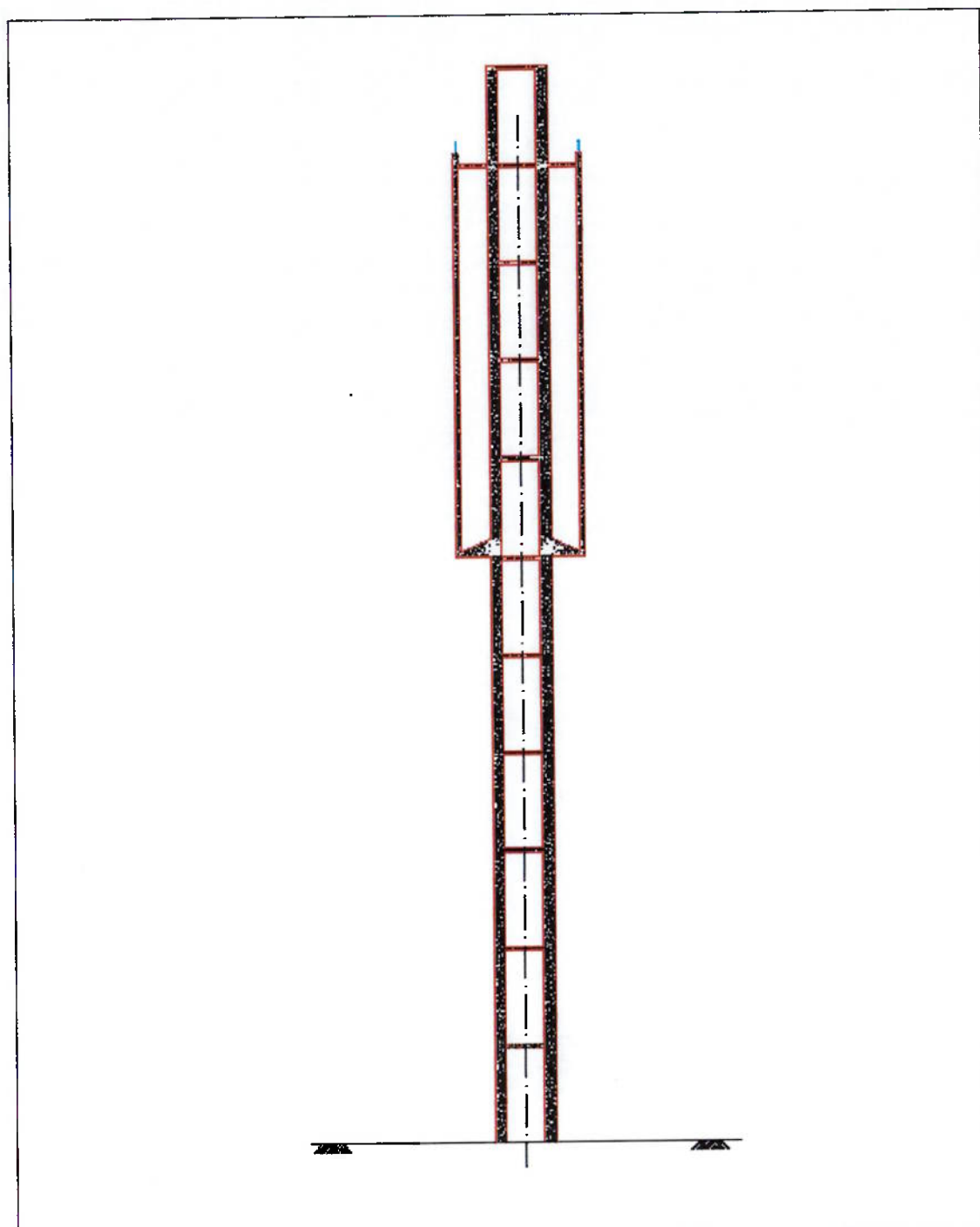


Figura 3.4: Vista frontal do castelo d'água

Fonte: CENPES (2005)

3.5.4. DESCRIÇÃO DO TRABALHO

O trabalho a ser realizado é a impermeabilização e recuperação estrutural do castelo d'água, consistindo nas seguintes etapas: mobilização do canteiro, montagem de andaime e elevador externo, tratamento da parede externa, tratamento interno do fundo, montagem de andaime interno, tratamento da parede interna, desmontagem de andaime externo e desmobilização do canteiro.

O castelo d'água consiste em reserva de água potável que abastece o CENPES, com uma altura de aproximadamente 55,0 e um volume de 450,0 m³.

Para a presente pesquisa serão abordadas as fases que consistem em entrada em espaços confinados (ABNT, 2001).

Pode-se exemplificar através do modelo apresentado na norma brasileira de Espaço confinado - Prevenção de acidentes, procedimentos e medidas de proteção (NBR-14787) o formulário de permissão de entrada para trabalho em espaço confinado (ABNT, 2001).

3.5.4.1. TRATAMENTO INTERNO DO FUNDO

O tratamento interno do fundo do castelo d'água consiste:

- No preenchimento do fundo do reservatório com 45,0 cm de Concreto Celular;
- Na aplicação de uma camada de 5,0 cm de Argatexsa Econômica;
- Na aplicação de Plastipegante;
- Na aplicação de manta Moter plas N/D;
- Na aplicação de uma camada de 15,0 cm de Argatexsa Econômica;
- Na aplicação de uma camada de 3,0 cm de R-moter.

A descida e subida para realização do trabalho de tratamento interno do fundo foram realizadas utilizando-se cadeira, conforme a Figura 3.5.



Figura 3.5: Cadeira ou balancim

Fonte: CENPES (2006)

3.5.4.2. MONTAGEM DE ANDAIME INTERNO

Consiste na montagem de Andaime Sistema Multidirecional Tipo CRAB, composto de plataforma de trabalho a cada 2,0 m, escada tipo Panatrap e guarda corpo, conforme as figuras 3.6 e 3.7.



Figura 3.6: Andaime interno

Fonte: CENPES (2006)



Figura 3.7: Plataforma do andaime interno

Fonte: CENPES (2006)

3.5.4.3. TRATAMENTO DA PAREDE INTERNA

O tratamento interno do fundo do castelo d'água consiste (Figura 3.8):

- Na remoção de revestimento danificado com o uso de ferramenta manual;
- Na aplicação de Plastipegante;
- Na aplicação de manta Moter plas N/D até a altura de 2,5 m;
- Na aplicação de R-moter até a altura de 2,5 m;
- Na aplicação de Moter plas Alumínio a partir da altura de 2,5 m.



Figura 3.8: Revestimento Moter plas Alumínio

Fonte: CENPES (2006)

3.5.5. CÁLCULO DO VOLUME DO ESPAÇO CONFINADO

O Castelo D'água forma um sólido tipo coroa (Figura 3.4) em que o diâmetro interno, o diâmetro externo e a altura são respectivamente, 2,45 m, 6,15 m e 18,00 m.

Dessa forma pode-se obter o volume do espaço confinado, conforme abaixo.

$$\text{Área da coroa} = \frac{\pi}{4}(6,15^2 - 2,45^2)$$

$$\text{Área da coroa} = 25,00 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume do castelo} = 25,00 \times 18,00 = 450,00 \text{ m}^3$$

3.5.6. NÚMERO DE PESSOAS TRABALHANDO NO ESPAÇO CONFINADO

A Tabela 3.2 apresenta o número de pessoas trabalhando no espaço confinado por fase. Podendo-se destacar como população fixa os executantes e população flutuante os supervisores e engenheiros.

Tabela 3.2: Número de trabalhadores por fase

Fase	Nº de executantes	Nº de supervisores e engenheiros	Total de pessoas
Tratamento interno do fundo	2	1	3
Montagem de andaime interno	4	3	7
Tratamento da parede interna	4	2	6

Fonte: CENPES (2006)

4. RESULTADOS

Conforme descrito no capítulo anterior, o trabalho a ser realizado é a impermeabilização e recuperação estrutural do castelo d'água, consistindo nas seguintes etapas: mobilização do canteiro, montagem de andaime e elevador externo, tratamento da parede externa, tratamento interno do fundo, montagem de andaime interno, tratamento da parede interna, desmontagem de andaime externo e desmobilização do canteiro.

Dessa forma a abordagem dos resultados consiste em aplicar os conceitos e métodos apreendidos e aplicá-los as condições específicas do caso escolhido, provendo uma solução de engenharia para o controle do ambiente e dessa forma garantindo a segurança dos trabalhadores na realização do trabalho.

4.1. PREPARAÇÃO PARA ENTRADA NO CASTELO D'ÁGUA

A preparação para a entrada no interior do castelo d'água, para o tratamento interno do fundo, deve ser feita utilizando-se o conceito da ventilação geral diluidora para a proteção da saúde do homem.

Nesse caso, a concentração desejada no ambiente deve ser inferior ao limite de tolerância (TLV) para a substância poluente.

Podemos considerar que possivelmente haja presença de Cl_2 proveniente do tratamento químico realizado na água potável pela Companhia Estadual de Água e Esgoto (CEDAE).

Podendo ser utilizados os produtos:

- Cloro líquido;
- Cal clorada;
- Hipocloritos.

A quantidade recomendável de cloro na água para consumo é de 0,2 a 0,5 ppm (parte por milhão ou miligrama/litro) de cloro residual.

Nesse caso, a concentração desejada no ambiente deve ser inferior ao limite de tolerância (TLV) para a substância poluente (Cl_2), que nesse caso é igual a 0,5 ppm (Anexo I).

Se, em um ambiente cuja concentração de uma substância é diferente de zero ($k_0 \neq 0$), e a taxa de geração da substância é zero, sendo esse ambiente ventilado com uma taxa de ventilação, a concentração irá decrescer, tendendo ao valor zero para o tempo tendendo a infinito, conforme a equação 2.10.

$$k = k_0 e^{-Qt/V} \quad (2.10)$$

Considerando:

- A taxa de ventilação $Q = 75 \text{ m}^3/\text{min}$ ou $Q = 90 \text{ m}^3/\text{min}$;
- A concentração $k_0 = 0,5 \text{ ppm}$;
- Volume do espaço confinado $V = 450,00 \text{ m}^3$.

E aplicando as operações logarítmicas, conforme a seguir temos:

$$k = k_0 e^{-Qt/V}$$

$$\frac{k}{k_0} = e^{-Qt/V}$$

$$\ln\left(\frac{k}{k_0}\right) = \ln(e^{-Qt/V})$$

$$\ln\left(\frac{k}{k_0}\right) = -\frac{Qt}{V}$$

$$t = -\ln\left(\frac{k}{k_0}\right) \frac{V}{Q}$$

Teremos os seguintes valores de tempo para a redução da concentração do contaminante, aplicando uma taxa de ventilação $Q = 75 \text{ m}^3/\text{min}$ ou $Q = 90 \text{ m}^3/\text{min}$, conforme a Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Redução da concentração do contaminante em função tempo de ventilação

Relação (k/k_0)	Tempo (min) $Q = 75 \text{ m}^3/\text{min}$	Tempo (min) $Q = 90 \text{ m}^3/\text{min}$
0,9	0,63	0,53
0,7	2,14	1,8
0,5	4,16	3,5
0,3	7,22	6,0
0,1	13,82	11,5
0,01	27,63	23,0
0,001	41,45	34,5

4.2. CÁLCULO DA TAXA DE VENTILAÇÃO

O Castelo possui um volume de $450,00 \text{ m}^3$, utilizando a Tabela 3.4 com os critérios sugeridos para projetos gerais de ventilação de ambientes para controle de odores e área funcional (manutenção e limpeza) deverão ser feitas de 8 a 12 trocas de ar por hora.

Dessa forma podemos utilizar ventiladores com as seguintes vazões (Tabela 4.2).

Tabela 4.2: Número de trocas e taxa de ventilação

Número de trocas por hora	Vazão (m^3/min)
8	60,0
9	67,5
10	75,0
11	82,5
12	90,0

5. DISCUSSÃO

Para a discussão do estudo uma das estratégias, mais desejáveis, é utilizar a lógica de adequação a um padrão (TROCHIM, 1989) padrão este que foi estabelecido prognosticamente no capítulo 4. Portanto a estratégia será a formulação de proposta baseada nos resultados e que contemple a execução dos trabalhos descritos anteriormente com segurança.

5.1. VENTILADOR E DUTOS

A escolha do ventilador/exaustor foi feita em função da análise do estudo feito e da oferta de equipamentos. Dessa forma foi escolhido um ventilador/exaustor centrífugo do tipo limit load de simples aspiração modelo SLL04, pás para trás fabricado em aço carbono 1020, tendo vazão de 5.112,0 m³/h ou 85,0m³/min, para uma pressão estática de 60 mmca de acionamento direto ao eixo do motor assíncrono de indução trifásica 220/380v, 60hz e potência 3,0 cv, 2 pólos e 3450rpm , com sucção de Ø 12" e descarga de Ø12".

O Equipamento foi instalado conforme disposição das bocas de visitas construídas para esta finalidade (Figura 3.4). O equipamento utilizado foi o EC3TAR, com vazão de 45,m³/min x 2 = 90,0m³/min.

5.2. ENTRADA NO ESPAÇO CONFINADO

A entrada no castelo d'água, após o seu esvaziamento deve ser precedida de uma insuflação de no mínimo 35,0 minutos, com uma taxa de ventilação de 90,0 m³/min, possibilitando uma redução de provável contaminante (Cl₂), sendo recomendada à instalação de dois dutos um com extensão de 5,0 metros e o outro com extensão de 14,0 metros e diâmetro de 12,0 polegadas, sendo que a vazão em cada duto será de aproximadamente de 45,0 m³/min, conforme a carga (Figura 5.1).

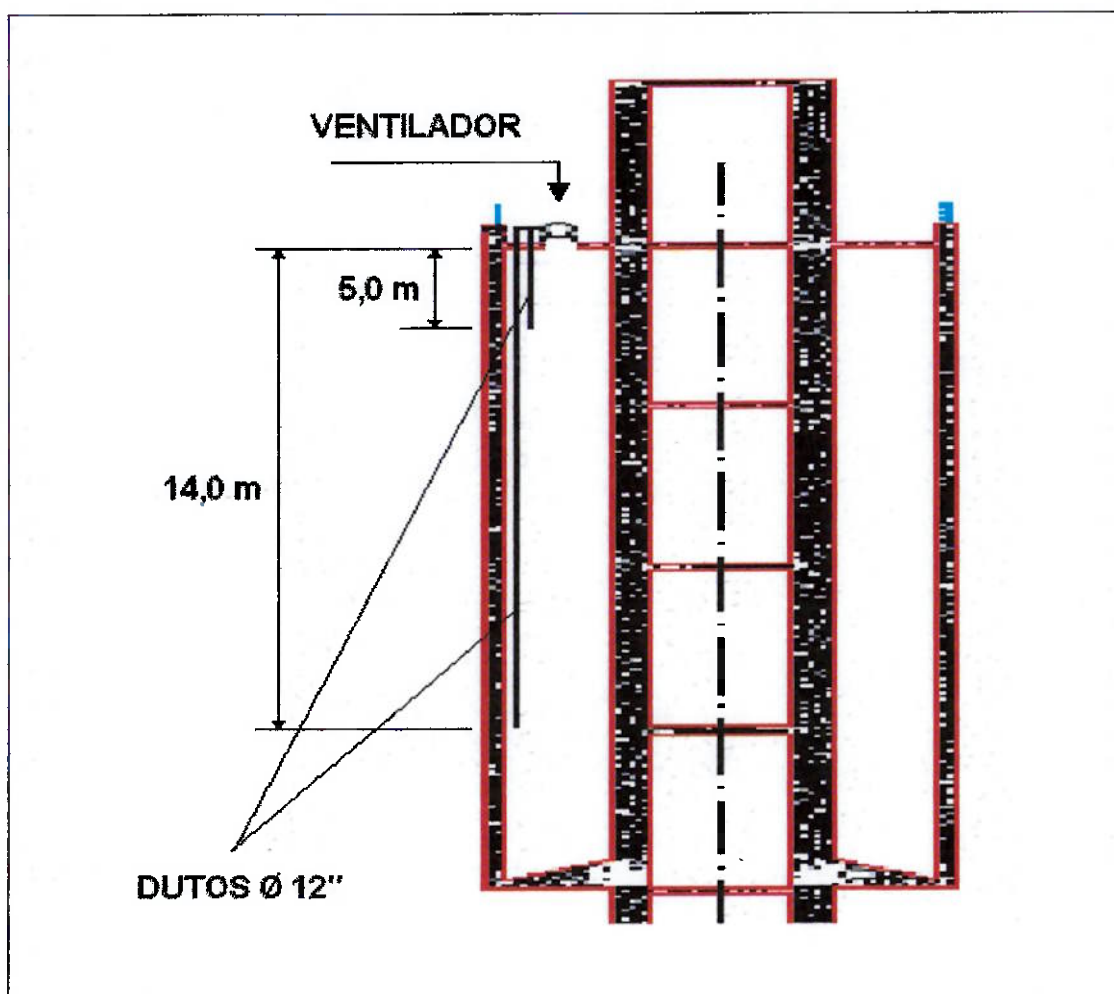


Figura 5.1: Instalação de ventilador e dutos

5.3. TAXA DE VENTILAÇÃO A SER MANTIDA DURANTE OS TRABALHOS INTERNOS NO ESPAÇO CONFINADO

Deverão ser feitas 12 trocas de ar por hora. Dessa forma podemos utilizar ventiladores com no mínimo a vazão de $90,0 \text{ m}^3/\text{min}$, sendo recomendada à instalação de dois dutos um com extensão de 5,0 metros e o outro com extensão de 14,0 metros e diâmetro de 12,0 polegadas, sendo que a vazão em cada duto será aproximadamente de $45,0 \text{ m}^3/\text{min}$ (Figura 5.1).

6. CONCLUSÕES

A pesquisa realizada permitiu distinguir fundamentalmente que os acidentes são devidos a disfunções específicas ou “mecanismos de erro”, e não devido a coincidências infelizes.

A pesquisa evidenciou a importância de um sistema de ventilação industrial quer por ventilação geral diluidora ou ventilação local exaustora nas indústrias, principalmente nas indústrias químicas e de petróleo e gás. Foi possível verificar, que no curso dos acontecimentos dos acidentes, várias foram as causas que levaram as suas ocorrências, contudo um dos fatores que contribuíram para suas ocorrências foi à falta de percepção dos riscos de um espaço confinado

A pesquisa permitiu analisar os resultados encontrados na aplicação de uma obra em espaço confinado, evidenciando da aplicação da disciplina de ventilação industrial.

Com os dados levantados e resultados foi possível propor soluções de engenharia, quanto a tempo de diluição de contaminantes em um espaço confinado específico, números de troca de ar necessários para o conforto térmico e renovação do ar ambiente e especificar modelo de ventilador adequado às características do espaço estudado, contemplando e convergindo para o controle do ambiente espaço confiando com embasamento em metodologia científica.

O presente estudo não esgota o assunto e pode ser aprofundado contemplando a inter-relação com outros agentes ambientais como ruído e vibração.

Ratificamos, na presente pesquisa, o conceito de que a segurança não deve ser um exercício intelectual e sim deve ser materializado traduzindo e melhores condições de trabalho para aos trabalhadores.

ANEXO I – FICHA DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO

CLORO:

Gás amarelo esverdeado, altamente tóxico e oxidante à temperatura e pressão ambiente. Possui odor acre, irritante e sufocante. Acondicionado liquefeito à pressão de vapor de 5,98 kgf/cm² man. a 21 °C.



Especificações

Grau	Pureza Mínima	Impurezas (ppm)	Tipo de Conexão	Principais Equipamentos
4.0 Eletrônico*	99,99% (fase líquida)	sob consulta	sob Consulta	sob consulta
2.5	99,5% (fase líquida)	sob consulta	sob consulta	Regulador de Pressão CRS-210 Instalação Centralizada sob Consulta

*Disponibilidade de cilindros sob consulta.

Disponibilidade de Cilindros para o grau 2.5

Tipo de Cilindro	Conteúdo	Pressão (kgf/cm ²)	Peso Bruto (kg)
T	50 kg	5,98	118
G	8,20 kg	5,98	21

Selecione o grau de pureza e em seguida o equipamento desejado

 2.5	 4.0 Eletrônico
--	---

Equipamentos

- Regulador gases extremamente corrosivos

Instalações centralizadas

- Inst. Cent. sob consulta

Identificação

Produto: CLORO

Nome Químico: Cloro

Sinônimos: Não aplicável

Grupo Químico: Halogênio
Fórmula: Cl₂
Peso Molecular: 70,906
Nome(s) Comercial(is): Cloro
Nº. ONU: 1017
Nº. da FISPQ: P 4580-E

□ Dados Físicos

Ponto de Ebulição, 760 mmHg: -33,97° C (- 29,15° F)
Ponto de Congelamento: -100,97° C (-149,76° F)
Massa específica kg/m³: 3,2128 kg/m³
Pressão de Vapor a 20° C: 85,3 psig
Densidade do Vapor (ar=1): 2,485
Solubilidade em Água, % em Peso: Leve
Percentagem de Matéria Volátil em Volume: 100
Coefficiente de Evaporação (Acetato de Butila=1): Alto

□ Componentes de Risco

Material: Cloro
Grupo de risco: 4
Risco principal: inalação e contato com o corpo
Toxidez: altamente tóxico. TLV = 0,5 ppm.
Potencial de inflamabilidade: mantém a combustão.

□ Limite de inflamabilidade no Ar, % em Volume

Inferior: Não aplicável
Superior: Não aplicável

□ Informações sobre Reatividade

Estabilidade: Estável.
Incompatibilidade (Materiais a Evitar): O cloro reage violentamente com a maior parte dos materiais incluindo metais (alumínio, cobre, latão) especialmente materiais inflamáveis e outros redutores, incluindo aço carbono a temperaturas acima de 250° C (100%° F).
Materiais de construção satisfatórios para uso com o gás: Aço Carbono, Aço Inox, Monel, Kel-F, Teflon, Tefzel, Kynar, Viton.

Aplicações Especiais



Fibras Óticas

Processos Metalúrgicos

• Desgaseificação de metais

Processos Químicos e Petroquímicos



Sínteses Químicas